

III CBCG

**Colóquio Brasileiro
de Ciências Geodésicas**

III Brazilian Colloquium on Geodetic Science

ANAIS DO EVENTO

III CBCG

Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas

III Brazilian Colloquium on Geodetic Science

Apresentação

O Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas da Universidade Federal do Paraná realizará de 3 a 6 de novembro de 2009 o VI COLÓQUIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS. Nesta sexta edição do evento, com o tema As Ciências Geodésicas na Era das Novas Plataformas Orbitais, busca-se consolidar o Colóquio como um espaço democrático para a troca de idéias e discussões de temas atuais na Comunidade de Ciências Geodésicas, enfocando avanços nas áreas de Geodésia, Levantamentos, Cartografia, Sistemas de Informações Geográficas, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto.

É neste espaço, voltado às discussões técnico-científicas, que o Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas se posiciona. A participação de conferencistas estrangeiros com reconhecido conhecimento científico busca promover a integração das instituições de ensino e pesquisa nacionais com as instituições estrangeiras.

Na sua sexta edição, tem ao longo destes anos contado com uma participação expressiva da comunidade envolvida com as Ciências Geodésicas, que ultrapassa nossas divisas, tornando-se um evento de referência na área.

Procuramos manter os princípios que nortearam a criação do Colóquio: um espaço para a troca de idéias, informações e experiências, voltado para a pesquisa em Ciências Geodésicas. Na programação não há sobreposição de atividades de forma a propiciar uma participação plena em todas as atividades a serem desenvolvidas durante o evento.

Neste ano, uma novidade foi incorporada ao evento: serão aceitos apenas resumos estendidos com o conteúdo de trabalhos já concluídos ou em fase de conclusão, sendo que a Comissão Científica selecionará durante o evento um conjunto de trabalhos de reconhecido destaque e os convidará para a submissão do trabalho completo ao Boletim de Ciências Geodésicas.

III CBCG

Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas

III Brazilian Colloquium on Geodetic Science
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

REITOR

Prof. Dr. Zaki Akel Sobrinho

PRÓ-REITOR DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO

Prof. Dr. Sérgio Scheer

DIRETOR DO SETOR DE CIÊNCIAS DA TERRA

Profa. Dra. Chisato Oka Fiori

CHEFE DO DEPARTAMENTO DE GEOMÁTICA

Prof. Dr. Luis Augusto Koenig Veiga

COORDENADORA DO CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS GEODÉSICAS

Profa. Dra. Claudia Robbi Sluter

COMISSÃO ORGANIZADORA

Prof. Dr. Luis Augusto Koenig Veiga (Presidente - UFPR)

Prof. Dr. Alzir Felipe Buffara Antunes (UFPR)

COMISSÃO TÉCNICO CIENTÍFICA

Prof. Dr. Silvio Rogério Correia de Freitas (UFPR - Coordenador)

Prof. Dr. Luis Danilo Damasceno Ferreira (UFPR)

Prof. Dr. Leonardo Castro de Oliveira (IME)

Prof. Dr. Edvaldo Simões da Fonseca Junior (POLI-USP)

Profa. Dra. Andrea Lopes Iescheck (UFRGS)

Prof. Dr. Henrique Firkowiski (UFPR)

Profa. Dra. Luciene Stamato Delazari (UFPR)

Profa. Dra. Maria Cecília Brandalize (UFPR)

Prof. Dr. Jorge Silva Centeno (UFPR)

Prof. Dr. Daniel do Santos (UFPR)

Prof. Dr. Maurício Galo (UNESP)

COMISSÃO DE INFRAESTRUTURA E DIVULGAÇÃO

Profa. Dra. Maria Cecília Brandalize (UFPR - Coordenadora)

Prof. Dr. Pedro Luis Faggion (UFPR)

Prof. Dr. Alvaro Muriel Lima Machado (UFPR)

Prof. MsC. Alex Soria Medina (UFPR)

Prof. Dr. Paulo Krelling (UFPR)

Profa. MsC. Dulce Machado Bueno (UFPR)

RESPONSÁVEL PELA EDIÇÃO

Profa. Dra. Maria Cecília Bonato Brandalize

UNIFORMIZAÇÃO DOS TEXTOS, CAPA E DIAGRAMAÇÃO

Profa. Dra. Maria Cecília Bonato Brandalize

FORMA DE APRESENTAÇÃO

Eletrônica

COMPILAÇÃO DO CD

Eng. Cartógrafo Marcos Aurélio Basso

III CBCG

Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas

III Brazilian Colloquium on Geodetic Science

SUMÁRIO

CARTOGRAFIA E SIG

ATLAS SOCIAL DO ESTADO DO PARANÁ

UMA APLICAÇÃO DO RECONHECIMENTO AUTOMATIZADO DE REDES DE DRENAGEM UTILIZANDO MODELO DIGITAL DE TERRENO

MODELAGEM DE RÁDIO ENLACE EM VRML

INTEGRAÇÃO DE IMAGENS MATRICIAIS E VETORIAIS NA VISUALIZAÇÃO DOS LEVANTAMENTOS REALIZADOS COM A UNIDADE MÓVEL DE MAPEAMENTO DIGITAL

A TECNOLOGIA DE BANCOS DE DADOS APLICADA AOS SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS

REALIDADE VIRTUAL COMO FERRAMENTA NA CARTOGRAFIA 3D

GEOTECNOLOGIAS APLICADAS EM ESTUDOS AMBIENTAIS: ESTUDO DE CASO NO PARQUE ESTADUAL DE CAMPINHOS – PR

A CARTOGRAFIA COMO UM INSTRUMENTO PERCEPTIVO NO ENSINO FUNDAMENTAL

MAPEAMENTO PARA A CRIAÇÃO DE RPPNS NO HABITAT DO MICO-LEÃO-DOURADO (*LEONTOPITHECUS ROSALIA*)

ATUALIZAÇÃO DA LEGISLAÇÃO CARTOGRÁFICA – NECESSIDADE NACIONAL

IMPLEMENTAÇÃO COMPUTACIONAL DE SÍMBOLOS CARTOGRÁFICOS EM SISTEMAS ESPECIALISTAS PARA A GERAÇÃO DE MAPAS TEMÁTICOS

UMA PROPOSTA DE USO DE INDICADORES ANALÍTICOS PARA PROJETO DE BASES CARTOGRÁFICAS ORIENTADAS AO USUÁRIO

ESTUDO COMPARATIVO ENTRE KRIGAGEM LINEAR E KRIGAGEM NÃO LINEAR PARA APLICAÇÃO EM AGRICULTURA DE PRECISÃO

MODELO ESPAÇO-TEMPORAL DE FENÔMENOS TERRESTRES

PERSISTÊNCIA DE FENÔMENOS TERRESTRES REPRESENTADOS COMO OBJETOS

DETERMINAÇÃO DO ESPAÇAMENTO OTIMIZADO DA GRADE POR ANÁLISE DE FOURIER

III CBCG

Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas

III Brazilian Colloquium on Geodetic Science

GERAÇÃO DE MODELO DIGITAL DO TERRENO UTILIZANDO A TRIANGULAÇÃO DE DELAUNAY E THIN
PLATE SPLINE

SISTEMA BASEADO EM CONHECIMENTO PARA DEFINIÇÃO DA LINGUAGEM CARTOGRÁFICA

ATUALIZAÇÃO DE BASE CADASTRAL E GERAÇÃO DE UM SIG PARA PEQUENOS MUNICÍPIOS

PLANEJAMENTO E ESTRUTURA URBANA DE SARANDI-PR

ANÁLISE DA COMPATIBILIDADE DO USO E APTIDÃO DO SOLO DO MUNICÍPIO DE COLOMBO (PR) COM
APOIO A FERRAMENTAS DE SIG

MAPEAMENTO E ANÁLISE DA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DAS ESCOLAS DO MUNICÍPIO DE COLOMBO (PR)
PARA O ATLAS MUNICIPAL

OTIMIZAÇÃO DE ROTAS ATRAVÉS DA WEB

PROJETO DE INTERFACES PARA ATLAS ELETRÔNICO

APLICAÇÕES DE GIS E SENSORIAMENTO REMOTO NO ZONEAMENTO AMBIENTAL DE SANTA MARIA, RS

ÁLGEBRA DE MAPAS APLICAÇÕES DE SENSORIAMENTO REMOTO E GEOPROCESSAMENTO NA
DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DOS ELEMENTOS DA PAISAGEM EM SANTA MARIA, RS

GENERALIZAÇÃO CARTOGRÁFICA: DETERMINAÇÃO DE CONCEITOS E TERMINOLOGIAS

DISPONIBILIZAÇÃO DE INFORMAÇÕES ESPACIAIS EM COMPUTADORES DE MÃO

MODELAGEM DE UM MAPA DINÂMICO DE UM SISTEMA DE NAVEGAÇÃO TERRESTRE

PERFIL HABITACIONAL DO PARANÁ

COMPLEXO ESTUARINO DE PARANAGUÁ: ESTUDO DAS CARACTERÍSTICAS AMBIENTAIS COM AUXÍLIO
DE UM SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA

DIAGNÓSTICO DA DEGRADAÇÃO DOS RIOS DO BUGRE, TIGRE E DOS PARDOS NO MUNICÍPIO
DE TRÊS BARRAS

ESTUDO COMPARATIVO DE MÉTODOS DE COMPRESSÃO DE MODELOS DE TERRENOS DIGITAIS
ATRAVÉS DE SUPERFÍCIES TRIANGULARES

CÁLCULO DE ÁREAS DE POLÍGONOS SOBRE O ELIPSÓIDE USANDO PROJEÇÕES EQUIVALENTES

III CBCG

Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas

III Brazilian Colloquium on Geodetic Science

CONTROLE DE QUALIDADE DOS MAPAS MUNICIPAIS DIGITAIS UMA PROPOSTA DE PADRONIZAÇÃO DO PROCESSO NA UNIDADE IBGE-CE

ELABORAÇÃO E GEORREFERÊNCIA DE UM FOTOMOSAICO DIGITAL DO MUNICÍPIO DE TOLEDO-PR ATRAVÉS DO SISTEMA DE INFORMAÇÃO TERRITORIAL RURAL – SITER

MODELO DE VISUALIZAÇÃO DE FENÔMENOS TERRESTRES EM 3D

FUNÇÃO DE SIMILARIDADE PARA TIN - DISCUSSÃO

FOTOGRAMETRIA E SENSORIAMENTO REMOTO

O EMPREGO DA TECNOLOGIA LASER NA CARTOGRAFIA

INCORPORAÇÃO DE DADOS AUXILIARES PARA MELHORAR A CLASSIFICAÇÃO DA VEGETAÇÃO

EXTRAÇÃO SEMI-AUTOMÁTICA DO EIXO DE RODOVIA EM IMAGENS DE MÉDIA E ALTA RESOLUÇÃO USANDO PROGRAMAÇÃO DINÂMICA

RECONHECIMENTO E DELINEAMENTO AUTOMÁTICO DE SEGMENTOS DE RODOVIA ATRAVÉS DE AGRUPAMENTO DE OBJETOS SEMÂNTICOS

UMA METODOLOGIA PARA MAPEAMENTO TRIDIMENSIONAL DE SÍTIOS HISTÓRICOS USANDO TÉCNICAS DE FOTOGRAMETRIA DE BAIXO CUSTO

APLICAÇÃO DE REDE NEURAL ARTIFICIAL E SENSORIAMENTO REMOTO NA CLASSIFICAÇÃO DA ÁREA URBANA DE PRESIDENTE PRUDENTE

DESERTIFICAÇÃO NA REGIÃO DE XINGÓ: ANÁLISE E MAPEAMENTO ESPECTRO-TEMPORAL

IDENTIFICAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DE ERROS PLANIMÉTRICOS EM EDIFICAÇÕES REPRESENTADAS EM IMAGENS *LASERSCANNING*

GUIA ELETRÔNICO: MOSAICO DE IMAGENS PARA FINS DE VISUALIZAÇÃO

PARÂMETROS DE DISTORÇÃO CAUSADA PELA ESCALA E NÃO-ORTOGONALIDADE ENTRE EIXOS NUMA CÂMARA DIGITAL: ESTUDO DE CASO

CORREÇÃO ATMOSFÉRICA: USO DE TÉCNICAS DE PROCESSAMENTO DIGITAL NA COMPARAÇÃO DE MAPAS TEMÁTICOS

INTEGRAÇÃO DE IMAGEM DE SATÉLITE E MAPA TOPOGRÁFICO POR MEIO DA TEORIA DA EVIDÊNCIA

III CBCG

Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas

III Brazilian Colloquium on Geodetic Science

A INFLUÊNCIA DA ALTERNÂNCIA ENTRE CLASSES E AMOSTRAS NA ENTRADA DA REDE NEURAL NA CLASSIFICAÇÃO DE IMAGEM DIGITAL

DESENVOLVIMENTO DE TÉCNICA DE MAPEAMENTO PLANIMÉTRICO CADASTRAL DE RODOVIAS UTILIZANDO-SE DA MONORESTITUIÇÃO E IMAGENS DIGITAIS PROVENIENTES DE CÂMARA DE VÍDEO E HELICÓPTERO

VERIFICAÇÃO DA ESTABILIDADE GEOMÉTRICA DOS PARÂMETROS DE CALIBRAÇÃO UMA CÂMARA DIGITAL NÃO MÉTRICA DE PEQUENO FORMATO SONY DSC-F717

UTILIZAÇÃO DE TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO NA AVALIAÇÃO PAISAGÍSTICA REGIONAL

DESENVOLVIMENTO DE UMA METODOLOGIA PARA A IDENTIFICAÇÃO AUTOMÁTICA DE PONTOS DE APOIO PRÉ-SINALIZADOS COM O USO DE REDES NEURAS ARTIFICIAIS E CORRELAÇÃO

MONORESTITUIÇÃO PLANIMÉTRICA DE ARRUAMENTOS URBANOS COM BASE EM IMAGENS DIGITAIS DE CÂMARA DE VÍDEO TOMADAS DE HELICÓPTERO

APLICAÇÃO DE INTERPRETADORES DIGITAIS A IMAGENS DA IRIS HUMANA

UTILIZAÇÃO DE IMAGENS IKONOS PARA ESTIMATIVA DE PROFUNDIDADES

O EFEITO DA COMPRESSÃO DE IMAGENS NOS PROCESSOS AUTOMÁTICOS DE EXTRAÇÃO DE INFORMAÇÕES

RESTITUIÇÃO DIGITAL DE MONUMENTOS HISTÓRICOS

FERRAMENTA DE SIMULAÇÃO DE DADOS *LASER SCANNING* PARA O SISTEMA TOPOSYS

MODELAGEM MATEMÁTICA DAS DEFORMAÇÕES GEOMÉTRICAS DE UM *DESKTOP SCANNER* VISANDO SEU USO NA FOTOGRAMETRIA

APLICAÇÃO DE REDES NEURAS ARTIFICIAIS NA CLASSIFICAÇÃO DE IMAGENS MULTITEMPORAIS E MULTISENSOR

MODELADORES DIGITAIS E REALIDADE (O MUSEU DE PARANAGUÁ)

UPTK: UMA BIBLIOTECA DE FUNÇÕES E CLASSES PARA SUPORTE À PESQUISA EM FOTOGRAMETRIA

DETECÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE VEGETAÇÃO USANDO DADOS DO *LASER SCANNER* AEROTRANSPORTADO

ASSINATURAS EM IMAGENS MULTI ESPECTRAIS

III CBCG

Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas

III Brazilian Colloquium on Geodetic Science

SISTEMA DE AQUISIÇÃO GEOREFERENCIADO E DE PROCESSAMENTO DE DADOS PARA APLICAÇÕES NA AGRICULTURA DE PRECISÃO

CLASSIFICAÇÃO DE UMA IMAGEM IKONOS UTILIZANDO AS TÉCNICAS “PIXEL” A “PIXEL” E A ANÁLISE ORIENTADA A REGIÃO

ESPECTRORADIOMETRIA DE CAMPO, NO VISÍVEL E INFRAVERMELHO PRÓXIMO: UM ESTUDO DA RESPOSTA ESPECTRAL DA SOJA

REALCE DO GRAU DE ARTIFICIALIDADE DE FEIÇÕES EM IMAGENS AÉREAS COLORIDAS

ANÁLISE DA OCUPAÇÃO DE ÁREAS DE PROTEÇÃO AMBIENTAL NA ÁREA URBANA DO MUNICÍPIO DE MATINHOS, PARANÁ, UTILIZANDO IMAGENS DE ALTA RESOLUÇÃO

MONORESTITUIÇÃO: UMA METODOLOGIA PARA GERAÇÃO RÁPIDA DE MAPEAMENTO URBANO DIGITAL A BAIXO CUSTO

VIABILIDADE DA IDENTIFICAÇÃO DE VARIEDADES DE Videira PELAS DIFERENÇAS OBSERVADAS NA RESPOSTA ESPECTRAL DAS FOLHAS

MONORESTITUIÇÃO DIGITAL DE AEROFOTOS, APOIADA POR IMAGENS *LASER SCANNING*, APLICADA AO MAPEAMENTO DE ELEMENTOS CADASTRAIS URBANOS

MÉTODO PARA CLASSIFICAÇÃO DE IMAGENS BASEADA EM MATRIZES DE CO-OCORRÊNCIA UTILIZANDO CARACTERÍSTICAS DE TEXTURA

GERAÇÃO DE MODELO TOPOGRÁFICO DE TERRENO E VISUALIZAÇÃO 3D: UMA EXPERIÊNCIA DIDÁTICA

SEGMENTAÇÃO *WATERSHED* UTILIZANDO A TÉCNICA DE MÍNIMOS IMPOSTOS

GEODÉSIA E LEVANTAMENTOS

MONITORAMENTO GEODÉSICO DE MOVIMENTOS DA CROSTA NA REGIÃO DA USINA HIDRELÉTRICA DE SALTO CAXIAS UTILIZANDO O GPS

PERTURBAÇÃO EM UM SATÉLITE GEOSTACIONÁRIO DEVIDO AOS COEFICIENTES RESSONANTES DO CAMPO GRAVITACIONAL TERRESTRE

DECODIFICAÇÃO E INTERPRETAÇÃO DE MENSAGENS RTCM

CONSTRUÇÃO DE UM BANCO DE DADOS GEORREFERENCIADO PARA DADOS TOPOGRÁFICOS E GRAVIMÉTRICOS DO ESTADO DO PARANÁ

TRANSFORMAÇÃO ENTRE REDES GEODÉSICAS: CONSIDERAÇÕES SOBRE OS ESPAÇOS 3D E 2D

III CBCG

Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas

III Brazilian Colloquium on Geodetic Science

EFEITO DO MULTICAMINHO NAS MEDIDAS DE FASE E PSEUDODISTÂNCIA GPS: DETECÇÃO E ATENUAÇÃO USANDO *WAVELETS*

ATENUAÇÃO DOS EFEITOS DA IONOSFERA NO POSICIONAMENTO RELATIVO GPS DE ALTA PRECISÃO UTILIZANDO A TÉCNICA DOS MÍNIMOS QUADRADOS PENALIZADOS

GPS DIFERENCIAL: CONCEITOS BÁSICOS, IMPLEMENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS

INTEGRAL ELÍPTICA APLICADA AOS PROBLEMAS DIRETO E INVERSO DA GEODÉSIA: ESTABILIDADE DOS MÉTODOS DE INTEGRAÇÃO NUMÉRICA E DISCREPÂNCIA ENTRE AS SOLUÇÕES DIRETA E INVERSA

APLICAÇÕES DE MÉTODOS GEODÉSICOS NO CONTROLE DIMENSIONAL DE EDIFICAÇÕES

A VARIAÇÃO DA VELOCIDADE DE ROTAÇÃO DA TERRA

DEZ ANOS DE MONITORAMENTO DO NÍVEL DO MAR NO IBGE

POSSIBILIDADE DE EMPREGO DO MODELO DIGITAL DE TERRENO NA AVALIAÇÃO DO SOLO URBANO

DEFINIÇÃO DE SISTEMAS DE REFERÊNCIA NO CONTROLE DE QUALIDADE DE EDIFICAÇÕES

IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA TOPOGRÁFICO LOCAL NO CENTRO POLITÉCNICO DE ACORDO COM A NBR 14166 – REDE DE REFERÊNCIA CADASTRAL MUNICIPAL - PROCEDIMENTO

METODOLOGIA PARA DETERMINAÇÃO DE SUBSIDÊNCIA DE SOLO NA REGIÃO METROPOLITANA DO RECIFE

DETERMINAÇÃO DE DESLOCAMENTOS VERTICAIS EM ESTRUTURAS DE PONTES UTILIZANDO TÉCNICAS GEODÉSICAS

GEÓIDE GRAVIMÉTRICO DO ESTADO DE SÃO PAULO: AVALIAÇÃO DE RESULTADOS

POSICIONAMENTO DE BÓIAS OCEANOGRÁFICAS DE DERIVA ATRAVÉS DE LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA UTILIZANDO SATÉLITES

AVALIAÇÃO DE FUNÇÕES PARA MODELAGEM DO EFEITO DA REFRAÇÃO IONOSFÉRICA NA PROPAGAÇÃO DOS SINAIS GPS

COMPORTAMENTO DA ELIPSE DOS ERROS QUANDO DA APLICAÇÃO DE ROTAÇÃO DE 360°

CORRELAÇÃO SNR E MULTICAMINHO NA FASE DAS PORTADORAS GPS

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DAS EFEMÉRIDES TRANSMITIDAS DOS SATÉLITES GPS

III CBCG

Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas

III Brazilian Colloquium on Geodetic Science

A INTERAÇÃO OCEANO-CONTINENTE AFETA O POSICIONAMENTO GEODÉSICO COSTEIRO? – UM ESTUDO DE CASO PARA CANANÉIA (SP)

PREDIÇÕES DO ATRASO ZENITAL TROPOSFÉRICO NA AMÉRICA DO SUL PARA POSICIONAMENTO GNSS EM TEMPO REAL

PRECISÃO E CONFIABILIDADE DO POSICIONAMENTO RTK COM O EMPREGO DO PROGRAMA GNRT

IMPORTÂNCIA DO RESGATE E ANÁLISE DA SÉRIE TEMPORAL DE OBSERVAÇÕES MAREGRÁFICAS NO PORTO DE IMBITUBA

MODELAGEM TRIDIMENSIONAL DE SUPERFÍCIES – ABORDAGEM SOBRE INTERPOLADORES NA GERAÇÃO DE MODELOS BATIMÉTRICOS

REGULARIZAÇÃO FUNDIÁRIA DE AGUDOS DO SUL, ESTUDO DE UM CASO.

OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE CALIBRAÇÃO DE GRAVÍMETROS A MOLA. MÉTODOS E RESULTADOS OBTIDOS NO LAIG

POSICIONAMENTO COM O DGPS: ANÁLISE DOS RESULTADOS EM FUNÇÃO DA VARIAÇÃO ESPACIAL E TEMPORAL E DA TAXA DE ATUALIZAÇÃO DAS CORREÇÕES

O GRAVÍMETRO DIGITAL SCINTREX E SUA APLICAÇÃO EM LEVANTAMENTOS GRAVIMÉTRICOS DE ALTA PRECISÃO

ESTUDO DAS DISTORÇÕES DO SISTEMA DE REFERÊNCIA GEODÉSICO DA REGIÃO METROPOLITANA DO RECIFE NAS ÉPOCAS 1973 A 1998

DESNÍVEIS DE PRIMEIRA ORDEM COM ESTAÇÃO TOTAL

CONTROLE INSTRUMENTAL: UM TEMA NÃO PONDERADO NA INSTRUMENTAÇÃO GEODÉSICA -ESTUDO DE UM CASO

DETERMINAÇÃO DO ERRO SISTEMÁTICO NA PSEUDODISTÂNCIA DEVIDA À IONOSFERA: AVALIAÇÃO DA PERFORMANCE DO MOD_ION E DO MODELO DE KLOBUCHAR

ESTRATÉGIAS DE PROCESSAMENTO DE UMA REDE GRAVIMÉTRICA CIENTÍFICA NO PARANÁ

DETERMINAÇÃO E COMPARAÇÃO DE COORDENADAS GEODÉSICAS PRECISAS UTILIZANDO OS CONCEITOS FKP E VRS

ANÁLISES TEMPORAL DAS VARIAÇÕES DA LINHA DE COSTA E VOLUMÉTRICA DO ISTMO DA ILHA DO MEL

ANÁLISE DA QUALIDADE DE UM POSICIONAMENTO EMPREGANDO ESTAÇÕES DE REFERÊNCIA VIRTUAIS

III CBCG

**Colóquio Brasileiro
de Ciências Geodésicas**
III Brazilian Colloquium on Geodetic Science

ESTUDOS PARA A INTEGRAÇÃO DE OBSERVAÇÕES GPS COM SINAIS DE SENSORES MEMS EM
LEVANTAMENTOS GEODÉSICOS CINEMÁTICOS

IMPLEMENTAÇÃO DO CADASTRO DE IMÓVEIS RURAIS UTILIZANDO METODOLOGIAS DE
LEVANTAMENTOS GEODÉSICOS

CONTROLE DE QUALIDADE DE LEVANTAMENTOS NO CONTEXTO DA LEI Nº 10.267

ESTAGIO ATUAL DAS REDES GEODÉSICAS HORIZONTAIS E VERTICAIS NO CHILE E PERSPECTIVAS DE
SUA INTEGRAÇÃO AO SIRGAS

CARACTERIZAÇÃO VOLUMÉTRICA DA BAÍA DOS CATETOS DO PANTANAL SUL-MATO-GROSSENSE

III CBCG
**Colóquio Brasileiro
de Ciências Geodésicas**
III Brazilian Colloquium on Geodetic Science

CARTOGRAFIA
E
SIG

ATLAS SOCIAL DO ESTADO DO PARANÁ

Luciene Stamato Delazari¹
Claudia Robbi Sluter²

- 1 Universidade Federal do Paraná – luciene@ufpr.br
2 Universidade Federal do Paraná – robbi@ufpr.br

RESUMO

O Atlas Social do Estado do Paraná é um sub-projeto de um projeto de pesquisa que visa avaliar e auxiliar o processo de implantação da política pública de assistência social no Estado. O projeto de pesquisa envolve três segmentos distintos da sociedade: os próprios pesquisadores, o Conselho Municipal e a comunidade. Em relação à implantação da LOAS (Lei Orgânica de Assistência Social) estes três segmentos têm diferentes atuações, e portanto, diferentes níveis de participação, além de diferentes níveis de entendimento a respeito do processo da implantação do Sistema Descentralizado e Participativo de Assistência Social. Assim, foi proposta a elaboração de três produtos: um Atlas Social Interativo, um Atlas para o Conselho Municipal e um Atlas para a comunidade. O Atlas Social Interativo faz parte do desenvolvimento de uma tese de doutorado, que servirá como subsídio às análises a serem realizadas pelos pesquisadores. O Atlas para o Conselho Municipal, será um Atlas impresso, objeto do presente trabalho, e o Atlas para a comunidade será desenvolvido sob a forma de uma cartilha. Serão apresentadas as etapas desenvolvidas até o momento, que incluem: estabelecimento de uma base de dados sobre a legislação da política de assistência social, desde 1994; constituição de uma base de dados geo-referenciada associada à base de dados alfanumérica contendo 26 indicadores, que permitiu a construção dos mapas temáticos; elaboração de um questionário que foi respondido pelos pesquisadores, tendo como base somente as informações numéricas e, posteriormente os mapas temáticos; e análise das respostas para definição das funções que estarão presentes no Atlas Eletrônico.

Palavras-chave: Atlas Interativo; Interatividade; Mapeamento Temático.

ABSTRACT

The Social Atlas of the State of Paraná is one the results of a research project which goal is to evaluate and to aid the implementation of public politics for social

assistance. This research involves 3 different society groups: the Municipal Council, the community and the researchers themselves. These 3 groups of people have different responsibilities for the Organic Law of Social Assistance in Paraná State. Therefore, we are developing 3 different Atlases based on the different levels of participation and understanding in relation to social assistance politics. These Atlases are: a computer-based interactive Social Atlas, an Atlas for the Municipal Councils and an Atlas for the communities. This paper describes some results of a research project which purpose is to create a Municipal Council Atlas. This research will reveal important knowledge about users in relation to how much this Atlas can help them make decisions about social assistance law. The computer-based interactive atlas is part of a doctoral dissertation, and it will be used by the researches. The Atlas for the community will be developed as a educational book. The Municipal Council Atlas is the focus of this work and it will be printed on paper. This paper describes the steps developed until now that are: the organization of a data base about social assistance politics legislation since 1994, generation of 26 thematic maps, definition of a questionnaire that was answered by the researchers. These answers will be used to define the tools that will be implemented in the Electronic Atlas.

Keywords Interactive Atlases; Interactivity; Thematic Mapping.

1. INTRODUÇÃO

A informação espacial tem sido utilizada por um número cada vez maior de pessoas, das mais diferentes áreas, e de maneiras inovadoras. Estas novas maneiras de utilização dos mapas tem como base o conceito de visualização cartográfica. De maneira simplificada, visualização significa utilização de métodos gráficos para análise e apresentação de dados (DiBiasi et al, 1992). A ênfase da visualização está mais em seu poder exploratório do que em aspectos comunicativos: está direcionada para o descobrimento e entendimento dos fenômenos espaciais.

Um elemento importante para a visualização cartográfica é a interatividade. O computador, que até a pouco tempo era utilizado para automatizar a produção dos mapas em papel, começa a incorporar uma forma de cartografia interativa e passa a ser, neste caso, não somente um meio de produção de mapas, mas um meio de comunicação (Peterson, 1995). A interatividade ocorre quando o usuário pode interagir sobre a base de dados e modificar suas decisões em função dos resultados, por exemplo, ao visualizar diferentes aspectos de um fenômeno, ao visualizar as informações em diferentes escalas e ao escolher a simbologia para visualizar as feições. Segundo Peterson (1995), os mapas interativos podem ser divididos em três grupos: Atlas Eletrônicos, Mapas para navegação pessoal e Mapas para análise de

dados. Os Atlas Eletrônicos são produtos da cartografia que estão ganhando cada vez mais espaço nas pesquisas teóricas, envolvendo visualização cartográfica, interatividade e sistemas especialistas.

Dentro do contexto de visualização cartográfica, incluindo o conceito de interatividade, o desenvolvimento de Atlas Eletrônico é colocado pela Associação Cartográfica Internacional (ICA – International Cartographic Association) como um dos temas de pesquisa, enfatizando a proposição e implementação de novos conceitos em projeto de Atlas (ICA, 2000).

O Atlas Social do Estado do Paraná é um sub-projeto de um projeto de pesquisa que visa avaliar e auxiliar o processo de implantação da política pública de assistência social no Estado. Este projeto tem como um de seus objetivos suprir a lacuna existente na produção de uma base teórica envolvendo Atlas Eletrônicos interativos. Utilizando uma base de dados já constituída, propõe-se a construção de um protótipo de um Atlas Eletrônico Interativo para o Estado do Paraná na área de Assistência Social. Para permitir a definição das informações, bem como dos recursos de interatividade e das interfaces presentes neste Atlas será primeiramente gerado um Atlas impresso que possibilitará fazer as inferências necessárias para chegar a estas definições. Deste modo, este trabalho descreve a metodologia e os resultados obtidos até o momento com relação à construção deste Atlas.

2. CONTEXTO

A Constituição Federal de 1988 alterou a concepção da Assistência Social, que foi incluída no campo da Seguridade Social, juntamente com a Saúde e a Previdência Social. Em 1993 foi promulgada a Lei no 8.742, Lei Orgânica de Assistência Social - LOAS - que dispõe sobre a organização da Assistência Social. No Estado do Paraná, a Secretaria do Trabalho e Ação Social (hoje Secretaria da Criança e Assuntos da Família) propôs em 1994 a criação e implantação do Sistema Descentralizado e Participativo de Assistência Social (Battini, 1997).

Buscando avaliar e auxiliar no processo de implantação da política pública da assistência social, iniciou-se em 1996 o projeto de pesquisa "Descentralização político-jurídico-administrativa no processo de implementação da LOAS no Paraná: reconstrução de conceitos ou manutenção de saberes e práticas?". Este projeto é desenvolvido pela Pontifícia Universidade Católica do Paraná, em conjunto com o Ministério Público do Estado do Paraná. Foi criado o Centro Interdisciplinar de Pesquisa e Consultoria em Políticas Públicas - CIPEC - instalado em Curitiba, para servir de órgão aglutinador de pesquisadores, alunos de graduação, pós-graduação e pessoas interessadas em pesquisa, com o objetivo de promover estudos sobre temas relacionados às políticas públicas no Estado do Paraná.

O objetivo geral do referido projeto é avaliar o processo de implantação regional da política pública, verificando em cada município do Estado a criação de conselhos e fundos municipais, e a inserção da população no processo de tomada de decisões. A Assistência Social é executada mediante o Conselho de Assistência Social e o Fundo de Assistência Social, que são mecanismos fundamentais na destinação, orientação e controle do seu financiamento. A avaliação realizada pelo projeto de pesquisa envolve três segmentos distintos da sociedade: os próprios pesquisadores, o conselho municipal e a comunidade. Os pesquisadores (CIPEC) estão organizados da seguinte maneira:

- Coordenação Geral - Curso de Assistência Social PUC/PR;
- Promotor de Justiça PR;
- Psicóloga integrante da equipe técnica do Ministério Público do Paraná;
- Assistente Social integrante da equipe técnica do Ministério Público do Paraná;
- Bolsistas das áreas de Serviço Social, Psicologia e Direito.

O Conselho Municipal é composto pelo Poder Executivo (Prefeito, primeira dama, secretários municipais), pelo Poder Legislativo (Vereadores), por dirigentes institucionais e por membros da comunidade.

Em 2000 foi realizado contato com estes pesquisadores de modo a complementar a pesquisa já em andamento, através da construção de um Atlas que retratasse a situação do Estado do Paraná com relação à implantação da LOAS. Sempre que informações espaciais são utilizadas para análise e compreensão de alguns fenômenos, a representação cartográfica deve ser utilizada tanto para o conhecimento dos fenômenos analisados, como para a apresentação de resultados. Os resultados podem ser diretrizes de planejamento, descobertas científicas, como também, ações a serem executadas em programas sociais. Esta justificativa do porquê representar certos tipos de informação em mapas, e utilizar estes mapas como parte do conjunto de informações a serem analisadas em programas, projetos ou estudos científicos, é sempre apresentada, pois as análises dos fenômenos não podem ser eficientes se tanto o comportamento espacial destes como também seus relacionamentos espaciais não for conhecido. Esta é a situação das informações analisadas nesta pesquisa, que buscando responder a questão colocada no seu título (“Descentralização político-jurídico-administrativa no processo de implementação da LOAS no Paraná: reconstrução de conceitos ou manutenção de saberes e práticas?”) necessita da análise de informações tais como: número de membros integrantes dos Conselhos Municipais de Assistência Social, paridade entre membros governamentais e não governamentais nos Conselhos Municipais de Assistência Social, instituição dos Fundos Municipais de Assistência Social.

3. METODOLOGIA DA PESQUISA

A avaliação realizada pelo projeto de pesquisa envolve três segmentos distintos da sociedade: os próprios pesquisadores, o Conselho Municipal e a comunidade. Devido às diferenças em termos de atuação e participação no processo de implantação da LOAS, estes três segmentos têm diferentes níveis de entendimento do processo da implantação do Sistema Descentralizado e Participativo de Assistência Social. Deste modo, propõe-se a elaboração de três produtos: um Atlas Social Interativo, para atender aos pesquisadores, um Atlas para o Conselho Municipal e um Atlas para a comunidade. O Atlas para a comunidade deverá conter informações com as quais as pessoas (usuários) aprendam sobre mapas, e como obter informações a partir deles, sendo produzido como uma cartilha, em papel. Os mapas temáticos apresentarão informações sobre qual é a situação da participação popular nas decisões municipais. De modo a fornecer um panorama geral da pesquisa serão descritos o Atlas Social interativo e o Atlas para o Conselho Municipal, sendo dada a este maior ênfase.

3.1 ATLAS SOCIAL INTERATIVO

Este Atlas permitirá aos pesquisadores avaliar o processo de implantação da LOAS e aconselhar o Conselho Municipal nas tomadas de decisão sobre o processo de implantação da Política Pública de Assistência Social. A participação do Ministério Público ocorre de maneira a defender e garantir a cidadania. Para tanto é necessário conhecer a realidade municipal no tocante à participação popular para exercer sua função. O papel do Ministério Público se cumpre na medida em que esclarece as modificações propostas e indica procedimentos para atender as correções, bem como propõe ações administrativas e judiciais para superar falhas na implementação de práticas político-administrativas resultantes da LOAS (Battini et al, 2000).

Os mapas que compõem este Atlas serão mapas temáticos interativos, que deverão permitir aos pesquisadores visualizar as diferentes características das informações representadas. Os pesquisadores construirão diferentes mapas temáticos, e serão capazes de consultá-los interativamente. Mapas interativos devem ser gerados e visualizados em meio digital, portanto o protótipo será um programa computacional fornecido em CDROM. A construção deste sistema será realizada em duas etapas. A primeira etapa envolverá a geração de mapas digitais com possibilidade de consulta interativa. A segunda etapa, a qual exige maior esforço de pesquisa e implementação computacional, diz respeito à geração do próprio software (programa computacional) que possibilita a criação de mapas temáticos pelos usuários do Atlas.

A primeira tarefa para a geração deste Atlas é a definição de todas as informações temáticas que deverão ser representadas. Já foram coletados 26 indicadores, para 278 Municípios do Estado, representando esta realidade até 1998. Tais indicadores relacionam-se à adequação legislativa e suas distorções. Encontra-se em fase de conclusão uma nova etapa de coleta de informações, relacionada ao controle e financiamento da Assistência Social, que passará a integrar a base de dados.

Para apoiar o trabalho dos pesquisadores, a primeira tarefa relacionada ao mapeamento temático foi a construção dos seguintes mapas:

- a) Reconstrução dos mapas gerados pelos pesquisadores a partir dos dados coletados na primeira etapa da pesquisa (26 mapas);
- b) Mapa da definição das 15 regiões de estudo, que foram definidas para o projeto;
- c) Mapas das regionalizações: cada mapa temático deverá representar como as diferentes instituições públicas dividem o Estado do Paraná em regiões administrativas.

3.2 ATLAS PARA O CONSELHO MUNICIPAL

Os membros do Conselho Municipal necessitam de informações sobre a atual situação das políticas públicas, e suas abrangências no município, para poder realizar a tomada de decisões sobre a Assistência Social de maneira mais eficiente. Como este Atlas será disponibilizado para todos os Conselhos Municipais sua produção será feita em papel, considerando as possíveis dificuldades de alguns membros de conselhos em consultar os mapas num computador.

No projeto e construção do Atlas para o Conselho Municipal a primeira etapa de trabalho é a definição de todas as informações temáticas que deverão ser representadas. Estas informações são definidas pelos 26 indicadores que foram agrupados em 4 grandes grupos. A classificação dos indicadores foi definida de acordo com uma de suas características que seja comum às informações pertencentes a cada grupo:

- a) Informações relacionadas aos Conselhos Municipais de Assistência Social (12 indicadores);
- b) Informações relacionadas aos Fundos Municipais de Assistência Social (6 indicadores);
- c) Informações sobre a Assistência Social (3 indicadores);
- d) Informações Administrativas (5 indicadores).

3.3.1. Projeto Cartográfico Temático

A base cartográfica em escala 1:1.000.000 foi disponibilizada pela Secretaria de Meio Ambiente do Estado do Paraná (SEMA), contendo os limites municipais. Utilizando o software SPRING 3.5.1 foi realizada a sua edição, o georeferenciamento de todos os municípios e criação de um banco de dados com os 26 indicadores. O processo de edição da base cartográfica consistiu na preparação da estrutura vetorial, de modo que o SPRING pudesse construir a topologia e internamente gerar os polígonos. Após esta etapa, foi realizado o georeferenciamento de cada município sendo que para identificá-los foram utilizados seus próprios nomes, permitindo fazer a ligação com o banco de dados de modo mais rápido e com menor risco de erros.

As informações mapeadas são, na sua grande maioria, nominais. As informações foram agrupadas em 4 grandes grupos, e foi analisado o número de classes em cada grupo de informação. Existem mapas que possuem de 3 a 7 classes, de modo que optou-se por definir representação distintas, porém todas nominais. Foram escolhidos 4 esquemas de cores nominais, sendo um para cada grupo de informações (Figuras 1 e 2). Para os mapas que possuem 4 ou mais classes, foram adotados 2 esquemas de cores nominais, sendo um composto por 2 tons de cinza, para as classes “item não respondido” e “municípios que não responderam”, e outro correspondente ao grupo em que a informação está representada no mapa.

FIGURA 01 – EXEMPLO DE MAPA TEMÁTICO DO GRUPO FUNDOS MUNICIPAIS DE ASSISTÊNCIA SOCIAL

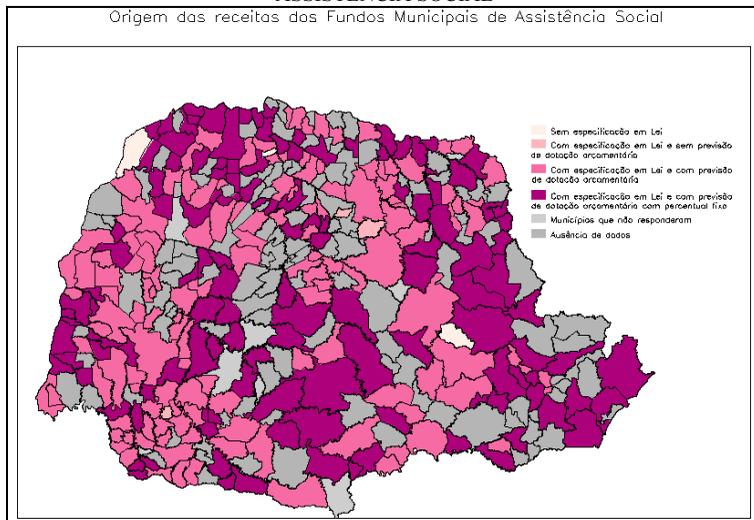
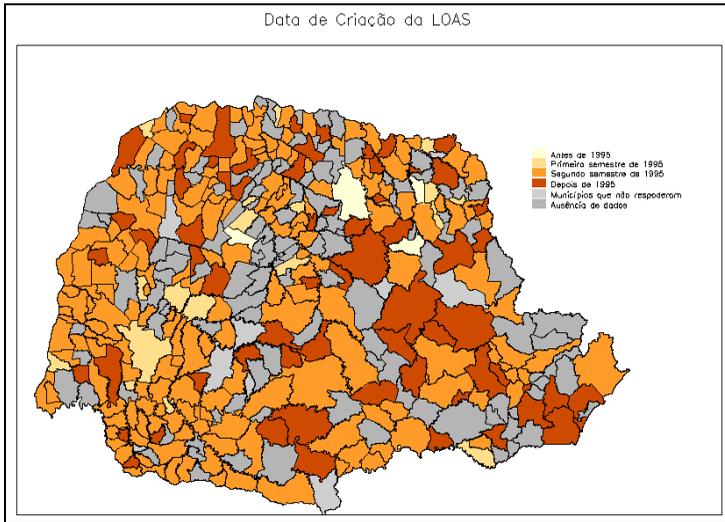


FIGURA 02 – EXEMPLO DE MAPA TEMÁTICO DO GRUPO CONSELHOS MUNICIPAIS DE ASSISTÊNCIA SOCIAL



3.3.2. Testes com os usuários – primeira parte

Para auxiliar no entendimento de como as informações espacialmente referenciadas podem ajudar no entendimento dos fenômenos sociais e no processo de tomada de decisões, foi elaborado um questionário que foi respondido pelos pesquisadores. Foram identificados os tipos de análises que os pesquisadores são capazes de realizar tendo por base apenas as informações numéricas. Posteriormente, foram apresentados os mapas temáticos para que o mesmo questionário fosse respondido com base em análises visuais.

Cabe aqui ressaltar que os pesquisadores são leigos no que diz respeito a conceitos cartográficos e processo de leitura dos mapas. De modo a fornecer os subsídios mínimos para que pudessem responder ao questionário foi realizada uma reunião na qual foram explicados conceitos básicos de cartografia e do processo de aquisição da informação a partir dos mapas.

Os pesquisadores responderam o questionário tendo como diretrizes: verificar e corrigir a hierarquia das informações constantes da legenda; identificar as tendências apontadas pelas informações mapeadas; verificar relações entre os mapas; sugestão de novos mapas e tabelas para integrar o Atlas para a Comunidade; avaliar os pontos positivos e negativos relativos ao processo de leitura e interpretação dos mapas. Como análises realizadas por parte dos pesquisadores estão os seguintes pontos:

- a) as repostas ao questionário baseado nos mapas ficaram enriquecidas em virtude do conhecimento anterior em relação ao processo de implantação da política pública de assistência social;
- b) foram indicados novas informações a serem incluídas no Atlas, de modo a subsidiar o entendimento do processo da política pública no Estado;
- c) foram indicadas as relações entre os diferentes mapas, que permitirão, no Atlas Interativo, realizar diferentes análises a respeito dos indicadores e suas tendências.

Após a construção do protótipo do Atlas Interativo serão realizados novos testes, para avaliar tanto a eficiência das interfaces quando das funções implementadas.

4. RESULTADOS PRELIMINARES

Nas etapas desenvolvidas até o momento foram obtidos resultados do ponto de vista teórico, incluindo a constituição de uma base de dados sobre: a legislação da política de assistência social, desde 1994; a legislação pertinente aos municípios paranaenses, no que diz respeito às leis de criação do Sistema Descentralizado e Participativo de Assistência Social, e aos regimentos internos dos Conselhos Municipais de Assistência Social; e os planos orçamentários e municipais de Assistência Social. Sob o ponto de vista prático, foi constituída uma base de dados geo-referenciada associada à base de dados alfanumérica contendo os 26 indicadores, que permitiu a construção dos mapas temáticos. A análise destes mapas por parte dos pesquisadores, respondendo ao questionário, permitiu a identificação das funções que deverão estar presentes no protótipo do Atlas Interativo.

5. REFERÊNCIAS

BATTINI, O. Descentralização político-administrativa na implementação da LOAS: reconstrução de conceitos ou manutenção de saberes e práticas? **Relatório do projeto de pesquisa**. Curitiba, 1997.

BATTINI, O. et al. Assistência Social – Controle e Financiamento. **Revista do Programa de Pós-graduação em Política Social do Departamento de Serviço Social da Universidade de Brasília**, p 117-140, jul-dez 2000.

DIBIASI, D. et al. Animation and the role of map design in Scientific Visualization. **Cartography and Geographic Information Systems**, v.19, n.4, p.201-214, 265-266, 1992.

ICA. **Commission Overview.** Disponível em: <http://www.geog.psu.edu/ica/icavis/ICAvis_overview.html>. Acesso em : 20 jun. 2000.

PETERSON, M. P. **Interactive and Animated Cartography.** 1. ed. New Jersey, Prentice Hall, 1995, 257 p.

UMA APLICAÇÃO DO RECONHECIMENTO AUTOMATIZADO DE REDES DE DRENAGEM UTILIZANDO MODELO DIGITAL DE TERRENO

Tatyana Cristina Fraga¹
Carlos Aurélio Nadal²
Donizeti Antonio Giusti³

¹ – Universidade Federal do Paraná - tatyfraga@aol.com

² – Universidade Federal do Paraná - cnadal@ufpr.br

³ – Universidade Federal do Paraná - donizeti@geologia.ufpr.br

RESUMO

As redes de drenagem são fundamentais na Engenharia, sendo as informações geradas utilizadas em atividades como projetos de monitoramento, gerenciamento e análise dos recursos hídricos. Os objetivos do presente trabalho são a verificação e análise do método de extração automática de redes de drenagem desenvolvido por SOILLE e GRATIN (1994), baseado na simulação de fluxo de águas na superfície topográfica, disponível no software SPRING versão 3.6. Como área de estudo utilizou-se uma região que compreende a Serra Geral entre os municípios de Guarapuava, Inácio Martins e Prudentópolis, no Estado do Paraná. O algoritmo presente no software utiliza duas aproximações distintas para definir a rede de drenagem, uma morfológica e uma hidrológica. No SPRING, o método foi realizado sobre uma grade regular processada a partir do método de interpolação média ponderada por cota e quadrante. Sobre essa foram geradas as grades hidrológicas, definindo valores de direção de fluxo e valores de fluxos acumulados. O reconhecimento da rede de drenagem é definido sobre a grade de fluxos acumulados, onde para visualizar o resultado devemos converter a grade para imagem com a opção níveis de cinza. Analisando-se a imagem gerada com a rede original, percebemos que ainda existem falhas na extração total, bem como na visualização, necessitando-se a utilização da função de contraste. Entretanto, o resultado pode ser convertido para uma representação vetorial, e desta forma ser editado, corrigindo as falhas ocorridas durante a extração automática.

Palavras-chave: MNT, Extração Automática de Redes de Drenagem, SIG.

ABSTRACT

The drainage network are valuable for engineering tasks and the information they generate is used in environmental studies, monitoring projects, hydric recourses management and analysis. This essay aims to verify and analyses the method developed by SOILLE and GRATIN (1994), based on water flow simulation on the topographic surface. This method is available in SPRING, a freeware software, version 3.6. The study area is located in Serra Geral, among the Guarapuava, Inácio Martins and Prudentópolis municipals - Paraná State. The algorithm implemented by the software uses two different approaches to define the drainage network. One is a morphological approach and other is a hydrologic In SPRING, the method was performed on a regular grid, processed from the weighted medium interpolation through quota and quadrant method. The hydrologic nets were generated over this grid, producing flow direction values and accumulated flow values. The dry net recognition is defined on the accumulated flow grid, and to visualize the results we have to convert the grid to an image with the gray level option. Analysing the result produced by the original grid, it is possible to verify that there are still errors in the total extraction as well as in the visualization, requiring the use of the contrast function. However, the result must be converted for a vectorial representation, thus allowing the edition and correction of errors that might have occurred during the automatic extraction.

Keywords: DTM, Automatic Drainage Network Extraction, GIS.

1. INTRODUÇÃO

As redes de drenagem são fundamentais nos trabalhos de Engenharia, sendo as informações por elas geradas utilizadas em atividades como estudos ambientais, projetos de monitoramento, gerenciamento e análise dos recursos hídricos.

Para minimizar os custos e demora no trabalho de extração manual das redes de drenagem, nas duas últimas décadas foram desenvolvidos vários métodos de extração automática. Os algoritmos desenvolvidos baseiam-se na modelagem digital da superfície geradas a partir de grades regulares utilizando-se de algum método de interpolação. Os objetivos do presente trabalho são a verificação e análise do método desenvolvido por SOILLE e GRATIN (1994), baseado na simulação de um fluxo de águas na superfície topográfica, disponível através do software de domínio público SPRING – Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), versão 3.6. O processo extrai redes de drenagem em fases distintas. O método executa o cálculo de grades hidrológicas, responsáveis pela determinação de direções de fluxo e de fluxos acumulados. O

fluxo é definido de acordo com o número de vizinhos que tenham valor de elevação superior ao ponto pesquisado, levando em consideração o grau de curvatura da morfologia do terreno. A análise foi realizada a partir do reconhecimento dos canais de drenagem gerados sobre uma imagem em níveis de cinza processada no próprio software, bem como com a hidrografia digitalizada da carta topográfica da região. Foram possíveis algumas comparações e observações sobre as direções de fluxos.

2. METODOLOGIA

2.1 ÁREA DE ESTUDO

A região escolhida para análise está localizada em uma zona de transição de paisagens. Encontra-se entre os Segundo e Terceiro Planaltos do Estado do Paraná, entre os municípios de Prudentópolis, Guarapuava e Inácio Martins, característicos pela predominância das terras altas com topografia ondulada. A escarpa divisória entre os planaltos é a Serra Geral, localmente denominada Serra da Esperança.

A área de 7200ha está localizada entre as latitudes 25°26'34,34" S e 25°24'24,21" S e longitudes 51°07'09,66" W e 51°04'46,35" W, possuindo quatro distintas formações geológicas (Formações da Serra Geral, Botucatu, Rio do Rastro e Teresina), sendo de fundamental importância para sua constituição geomorfológica, contribuindo diretamente na hidrografia da região.

2.2 MODELO DIGITAL DO TERRENO

Desde o início dos anos 60, diversos institutos tecnológicos pesquisam a descrição numérica do terreno, tendo como meta desenvolver um método que represente o relevo na forma mais fiel possível.

Segundo BURROUGH (1986), MDT é uma representação matemática da distribuição espacial da característica de um fenômeno vinculada a uma superfície real.

O MDT tem diversas aplicações, citadas por PORTUGAL (1999):

- armazenamento de dados de altimetria para mapas topográficos digitais;
- identificação e cálculo de volume para cortes e aterros para projetos de engenharia;
- visualização do terreno em 3D;
- planejamento de traçado de estradas, estudo de barragens, entre outros;
- análise estatística de tipos de terreno;
- identificação de intervisibilidade entre pontos do terreno;
- identificação de superfícies quaisquer, substituindo-se os valores de altitude por outros que representem determinado fenômeno;
- identificação de áreas de inundação e áreas agricultáveis;

- geração de mapas de aspecto e de declividade;
- entre outras.

No processo de modelagem numérica do terreno podemos identificar três fases distintas: aquisição de dados, geração de grades e operações para gerar informações, sendo definidas por MITISHITA (1994) da seguinte forma:

- a) aquisição do conjunto de amostras – obtenção de informações da superfície real que possibilite a caracterização matemática do modelo;
- b) geração do modelo – elaboração de um modelo matemático composto por estruturas de dados e funções de interpolação que simulem o comportamento da superfície real;
- c) utilização do modelo gerado – utilização do modelo em substituição à superfície real.

WEIBEL & HELLER (1991) indicam que a escolha da fonte e das técnicas de amostragem dos dados são aspectos importantes para a qualidade do MDT, sendo possível obtê-las a partir de documentos cartográficos como mapas topográficos e perfis.

Na digitalização, a entrada de dados é feita por um cursor sobre a mesa digitalizadora, dotada de um sistema de coordenadas retangulares, registrando eletronicamente as coordenadas XY do ponto. A coordenada Z deve ser digitada via teclado ou obtida através de um arquivo (PORTUGAL, 1999).

Para a representação de uma superfície real no computador é indispensável a criação de um MDT, podendo ser por equações analíticas ou por uma rede de pontos na forma de uma grade regular ou irregular. No presente trabalho utilizamos a forma de geração de grade regular para obtenção do MDT.

2.2.1 Grades Regulares ou Retangulares

A grade regular ou retangular é um modelo digital que aproxima superfícies através de um poliedro de faces retangulares. Os vértices desses poliedros podem ser os próprios pontos amostrados caso estes tenham sido adquiridos nas mesmas posições XY que definem a grade desejada. A geração da grade regular deve ser efetuada quando os dados amostrados na superfície não são obtidos com espaçamento regular. Desta forma, a partir de informações contidas nas isolinhas ou nos pontos amostrados, gera-se uma grade que represente a superfície aproximando-se da realidade. (www.dpi.inpe.br/spring/teoria/mnt/mnt.htm)

CÂMARA (1998) descreve a grade regular como uma representação matricial onde cada elemento da matriz está associado a um valor numérico. Para a geração da grade é necessário estimar através de interpoladores os valores para as células que não possuem medidas de elevação, considerando-se a vizinhança de medidas de elevação conhecidas.

O espaçamento da grade, ou seja, a resolução em X ou Y, deve ser menor ou igual a menor distância entre duas amostras com cotas diferentes. Ao se gerar uma grade muito fina (densa), ou seja, com distância entre os pontos muito pequena, existirá um maior número de informações sobre a superfície analisada, necessitando maior tempo para sua geração. Ao contrário, considerando distâncias grandes entre os pontos, será gerada uma grade grossa, podendo acarretar em perda de informação. Desta forma, para a resolução final da grade, deve haver um compromisso entre a precisão dos dados e do tempo de geração da grade. (www.dpi.inpe.br/spring/teoria/mnt/mnt.htm)

2.2.2 Métodos de Interpolação

Interpolar é predizer (ou estimar) o valor da variável em estudo num ponto não amostrado (LANDIM, 2002).

BURROUGH (1986) comenta que as funções de interpolação podem ser definidas como globais ou locais. A função global é dependente de todos os pontos amostrados, sendo que a alteração de um valor de entrada, afeta o mapa inteiro. As funções locais são definidas para pequenas porções dos mapas, sendo aplicadas sucessivamente até cobrir toda a área do mesmo. Uma alteração num valor de entrada afeta apenas o resultado de um subconjunto. Essas regiões podem ser definidas por raios de influência, ou por quantidade de amostras vizinhas.

O processo de geração de um modelo de grade compreende a construção de uma malha e a definição de funções interpolantes locais (KOZCIAK, 1999).

Segundo LANDIM (2002), a base de muitos métodos de interpolação é a mesma. O valor de um ponto a ser predito (Z^*) é a somatória do produto entre o valor do variável de um ponto conhecido (Z_i) por um peso calculado (λ_i) para os pontos i , variando de 1 até N, onde N representa o número total de pontos considerados, como mostra a fórmula (1).

$$Z^* = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z_i \quad (1)$$

Quando trabalhamos no espaço, LANDIM (2002) comenta que pontos conhecidos mais próximos aos pontos a serem preditos, devem ter um peso maior, pois sua influência é maior. Assim, poder-se-ia usar um outro algoritmo para calcular os pesos, baseado no inverso da distância, que estabelece que quanto menor for a distância entre os pontos conhecidos e o predito, maior será o peso.

$$Z^* = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z_i = \lambda_1 Z_1 + \lambda_2 Z_2 + \lambda_3 Z_3 = 1/d_1 Z_1 + 1/d_2 Z_2 + 1/d_3 Z_3 \quad (2)$$

LANDIM (2002) afirma que o valor predito depende diretamente do método de interpolação escolhido. Existe um número significativo de métodos de interpolação que podem fornecer resultados divergentes, mas cada um vai ter uma resposta para cada variável em estudo.

Os métodos mais comuns de interpolação local presentes nos softwares são: vizinho mais próximo, inverso da potência da distância, mínima curvatura (Spline) e Krigagem (com mais de 30 técnicas distintas).

A base matemática de muitos métodos de interpolação é a mesma, e consiste na obtenção do valor de um ponto a ser predito cujo resultado é a somatória do produto entre o valor da variável de um ponto conhecido pelo peso calculado para este ponto, estendido ao número total de pontos considerados. Para o desenvolvimento deste trabalho, utilizamos um dos métodos de média ponderada para interpolar os dados.

As médias móveis são os modelos mais simples para estimar os valores de cota dos pontos da grade. Dentro de suas variações, utilizamos a Média Ponderada por Quadrante e Cota, pois além da ponderação por quadrantes, o valor de cota de cada amostra a ser usada na estimativa do ponto da grade é considerado. Seu uso é recomendado quando as amostras são do tipo isolinhas (www.dpi.inpe.br/spring/teoria/mnt/mnt.htm).

2.3 EXTRAÇÃO DE REDES DE DRENAGEM

A rede de drenagem de uma região define os caminhos de escoamento de água de chuva. As informações gerada podem ser utilizadas em diversas atividades, tais como: estudo de relevo, determinação de áreas de risco de erosão do solo, transporte de poluentes, delimitação de área inundadas e estudo de bacias hidrográficas (ROSIM,1999).

Nas duas últimas décadas, vários métodos foram criados com o objetivo de extrair a rede de drenagem automaticamente utilizando modelos digitais do terreno (MDT), sendo em particular gerados a partir de grades regulares (FELGUEIRAS, 1998).

A maior parte dos métodos de extração de características topográficas existentes na literatura utiliza uma grade regular ou mapa de elevação para representar as superfícies do terreno, onde amostras de pontos representando medidas de altitude ou elevação são armazenadas em intervalos regulares (PEDRINI, 2001).

2.3.1 Métodos de obtenção de redes de drenagem

Segundo CHOROWICZ et al. (1992), as redes de drenagem são obtidas por observação de campo, fotointerpretação ou extração direta a partir de mapas topográficos, ou indiretamente por meio de curvas de nível.

O método usual de obtenção das redes de drenagem consiste em traçá-las a partir de fotos aéreas ou digitalizá-las a partir de carta topográficas. Algumas técnicas nem sempre são práticas, devido a problemas de manuseio e uniformidade dos dados oriundos de vários mapas em diferentes escalas. Além disso, as informações de drenagem obtidas a partir de cartas topográficas podem estar incompletas devido à generalização cartográfica (DELAZARI, 1996).

Com a finalidade de se obter os dados planialtimétricos, a carta da região em escala 1:50000 foi digitalizada.

2.3.1.1 Automatização da extração das redes de drenagem

Um algoritmo utilizado para extração automática de redes de drenagem foi desenvolvido por MEISELS et al. (1995). Utiliza o MDT em formato de imagem em níveis de cinza representando as diferentes altitudes. Desse modo, o algoritmo extrai a rede de drenagem baseando-se em conceitos de processamento digital de imagens (DELAZARI, 1996).

O método utilizado por MEISELS (1995) é conhecido como Algoritmo de Esqueletização em Vários Níveis, extraindo a rede por um processo de busca contínua em caminhos de mesma elevação, produzindo uma série de esqueletos que formam os fluxos da rede (ROSIM, 1999).

Este método não necessita de parâmetros fornecidos pelo usuário, e sim apenas um valor de patamar K_t , responsável por definir o nível de detalhamento da rede, sendo que quanto menor seu valor, mais detalhes são observados. O fluxo será definido em relação ao número de vizinhos que tenham elevação maior que o ponto pesquisado, obedecendo a duas condições: grau de curvatura e conectividade (ROSIM, 1999).

O algoritmo utilizado para extração automática de redes de drenagem presente no software SPRING e utilizado neste trabalho, foi desenvolvido por SOILLE e GRATIN (1994). Nele são usadas duas aproximações distintas para definir a rede de drenagem. A primeira é uma aproximação morfológica onde pixels que pertencem à rede são definidos por morfologias locais, sendo a mais comum considerada o coeficiente de curvatura, onde todo o pixels que têm este coeficiente côncavo mais alto que um determinado limiar é julgado pixels de drenagem. A segunda é uma aproximação hidrológica, onde um fluxo de água é simulado sobre a superfície topográfica.

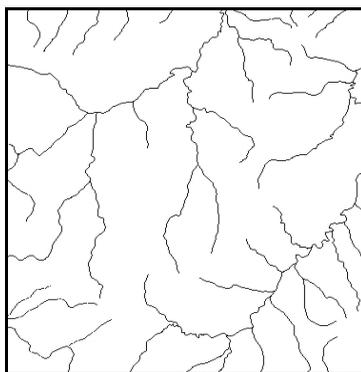
No SPRING, o método foi realizado sobre uma grade regular processada a partir do método de interpolação descrito. Sobre essa foram geradas as grades hidrológicas, definindo valores de direção de fluxo, que armazenam em cada pixel calculado a direção do fluxo a partir desse mesmo pixel e, valores de fluxos acumulados, que em cada pixel guarda a informação de por quantos outros um determinado fluxo passou até chegar nele. O reconhecimento da rede de drenagem é

definida sobre a grade de fluxos acumulados, onde para visualizar o resultado devemos converter a grade para imagem com a opção níveis de cinza.

3. RESULTADOS OBTIDOS

A imagem gerada a partir da grade de fluxos acumulados possui um intervalo de valores da drenagem que pode variar de 0 a 255, havendo uma compressão de valores. Na imagem em estudo poucos fluxos de drenagem foram identificados, pois uma grande parte possui valores de nível de cinza próximos como mostra a figura 01.

FIGURA 01 - EXTRAÇÃO DA REDE DE DRENAGEM E REDE ORIGINAL

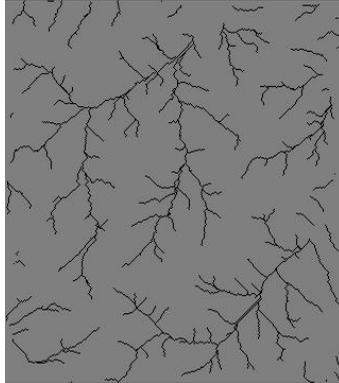


A técnica de realce de contraste tem por objetivo melhorar a qualidade das imagens sob os critérios subjetivos do olho humano, podendo ser definido como a razão entre os seus níveis de cinza médios.

A manipulação do contraste consiste numa transferência radiométrica em cada *pixel*, com a finalidade de aumentar a discriminação visual entre os objetos presentes na imagem. Esta transferência radiométrica é realizada com ajuda de histogramas, que são manipulados para obter o realce desejado.

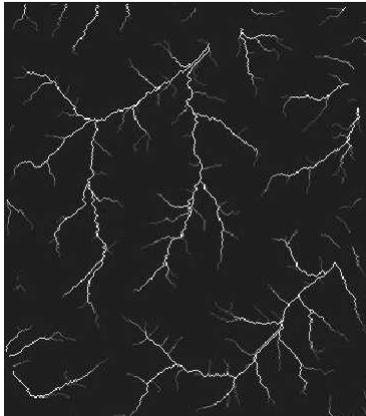
Para melhorar a qualidade visual da imagem, usamos duas funções distintas de contraste do SPRING, uma logarítmica, e outra negativa, cujos resultados estão nas figuras 02 e 03, respectivamente.

FIGURA02 - REDE DE DRENAGEM COM CONTRASTE NEGATIVO



Esta função faz um mapeamento linear inverso, ou seja, o contraste ocorre de modo que as áreas escuras (baixos valores de nível de cinza) tornam-se claras (altos valores de nível de cinza) e vice-versa.

FIGURA 03 - REDE DE DRENAGEM COM CONTRASTE LOGARÍTMICO



O mapeamento logarítmico de valores de níveis de cinza é útil para aumento de contraste em feições escuras (valores de cinza baixos). Há uma porção menor de níveis de cinza sobre um grande aumento de contraste.

Os dois métodos estão com a mesma resolução, ou seja, o mesmo valor de entrada (98) e saída (211) de níveis de cinza para a operação de equalização do histograma.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Um aumento de contraste nunca irá revelar uma nova informação. O contraste apenas apresentará a mesma informação dos dados brutos, porém de uma forma mais clara ao usuário.

Um exame prévio do histograma da imagem pode ser bastante útil, pois é uma das formas mais comuns de se representar a distribuição dos níveis de cinza (NC) de uma imagem, e é a mais utilizada em processamento digital de imagens.

Os métodos aplicados de realce de contraste mostram-se eficientes. Sobrepondo-se a digitalização dos rios sobre as imagens processadas, podemos perceber que os canais principais foram corretamente delineados. Existem falhas no sistema, como a quebra de linhas, fazendo com que os cursos das drenagens fiquem desconectadas, e também a geração de linhas paralelas.

Para um melhor resultado deve-se converter a imagem para uma representação vetorial, para que possa ser editada de forma a corrigir possíveis falhas ocorridas durante a extração automática.

5. REFERÊNCIAS

BURROUGH, P. A. **Principles of Geographical Information System for Land Resources Assessment**. New York: Oxford University Press, 1986.

CÂMARA, G.; MEDEIROS, J. S. **Geoprocessamento para Projetos Ambientais**. Apostila. 2 ed. Ver. E amp. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, maio de 1998, São José dos Campos, SP.

CHOROWICZ, J. et al. **A Combined Algorithm for Automated Drainage Network Extraction**. Water Resources Research, v. 28, n. 5, p. 1293 – 1302, mai. 1992.

DELAZARI, L. S. **“Extração Automática de Redes de Drenagem a partir de Modelos Digitais de Terrenos”**, Dissertação de Mestrado, Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Universidade Federal do Paraná, 1996.

DELAZARI, L. S.; VIEIRA, A. J. B.; DALMOLIN, Q. **Extração Automática de Canais de Drenagem Utilizando Modelos Digitais de Altitude**. Boletim Paranaense de Geociências, n. 46, p. 91 – 96, Editora da UFPR, 1998.

FELGUEIRAS, C. A. **Curso de Modelagem Digital de Terrenos e Aplicações**, apostila do curso SPRING. 1998.

KOZCIAK, S.; ROSTIROLLA, S. P.; FIORI, A. P. **Análise Comparativa entre Métodos de Interpolação para Construção de Modelos Numéricos do Terreno**. Boletim Paranaense de Geociências, n. 47, p. 19 – 30, Editora da UFPR, 1999.

LANDIM, P. M. B. **Introdução à Confecção de Mapas pelo Software Surfer**. 20 p. Rio Claro: UNESP. 2002. Disponível no formato .pdf (Adobe Acrobat) em <<http://www.re.unesp.br/igce/aplicada/textodi.html>> (Texto Didático 08, interpo.pdf)

MEISELS, A.; RAIZMAN, S; KARNIELI. **Skeletonizing a DEM into a Drainage Network**. Computers and Geosciences, v. 21, n. 1, p. 187 – 196, Jan. 1995.

MITISHITA, E. A. **Modelo Digital de Terreno e suas Aplicações na Área Florestal**. In: Sensoriamento Remoto e SIG aplicados à Engenharia Florestal (1994: Curitiba). Anais do 1. Seminário de Atualização. Curitiba, 1994, p. 49 – 60.

PEDRINI, H.; SCHWARTZ, W. R. **Reconhecimento Automático de Características Topográficas em Imagens Digitais de Terreno**. In: II Colóquio Brasileiro de Ciência Geodésicas (CDROM). 23 a 25 de maio de 2001. Curitiba – Pr.

PORTUGAL, J. L.; SÁ, L. A. C. M. de; ROMÃO, V. M. C.; CARNEIRO, A. F. T. **Modelo Digital do Terreno**. Cartografia e Cadastro, n. 10, p. 23 – 31, junho, 1999.

ROSIM, S.; PELLEGRINO, S. R. M. **Extração de Redes de Drenagem de Imagem de Radar Usando Modelos Digitais de Terreno**. GisBrasil 1999. <http://www.dpi.inpe.br/geopro/trabalho/gisbrasil99/rede_drenagem

SOILLE, P.; GRATIN, C. **An Efficient Algorithm for Drainage Network Extration on DEMs**. Journal of Visual Communication and Image Representation, v.5, N.2, June, 1994. p. 181 – 189.

WEIBEL, R.; HELLER, M. **Digital terrain modelling**. In: MAGUIRE, D. J.; GOODCHILD, M. F.; RHIND, D. W. Geographical information system: principles. New York: John Wiley and Sons, 1991.

MODELAGEM DE RÁDIO ENLACE EM VRML

¹João Rodrigues Tavares Júnior

²Ana Lúcia Bezerra Candeias

³Alejandro César Orgambide Frery

1 Universidade Federal de Pernambuco – analucia@ufpe.br

2 Universidade Federal de Pernambuco – rt@ufpe.br

3 Centro de Informática – frery@cin.ufpe.br

RESUMO

Este trabalho descreve uma aplicação de realidade virtual não imersiva de um Modelo Digital de Terreno (MDT) utilizando a linguagem VRML. A análise mostra a localização exata para as antenas. Considerações físicas e geométricas são apresentadas na modelagem, nos dados e na solução do problema. Estes modelos tridimensionais e base de dados podem ser visualizados na INTERNET. Um exemplo em VRML é apresentado.

Palavras-chave: VRML, MDT, radio progação, radio enlace

ABSTRACT

This paper describes an application of non-immersive Virtual Reality Model Language (VRML) in Digital Terrain Model (DTM) visualization and analysis. The analysis seeks for adequate sites for antenna placement. Geometrical and physical considerations are employed to model the problem, the data and the solution. Three-dimensional models and databases can be made available on the Internet and over in tracts using VRML worlds, allowing the implementation of a complete project. An example in VRML is shown.

Keywords: VRML, DTM, radio propagation, radio link.

1. INTRODUÇÃO

A cobertura geográfica da telefonia celular móvel é mantida graças à comunicação de antenas formando redes conectando antenas e celulares.

Antenas direcionais são instaladas em locais que permitam a transmissão e recepção de sinais de rádio de forma a não existir bloqueio permanente dos sinais. As frequências do sinal utilizadas pelas antenas diretivas de telefonia celular requerem a intervisibilidade direta, portanto é necessário não haver o bloqueio do sinal por objetos fixos no terreno para o rádio enlace entre estas antenas.

Os locais mais adequados para instalar antenas são cobertura de prédios, edificações em topo de relevo, e torres ou postes usados na fixação e orientação de antenas.

Para avaliar a intervisibilidade engenheiros eletrônicos e de telecomunicações elaboram gráficos de perfis do relevo ou topográficos. Nestes gráficos são colocados prédios e árvores para estudar situações de bloqueio da linha de visada entre antenas.

Os perfis topográficos são obtidos a partir de cartas topográficas. As posições de prédios e árvores inseridos colocados no perfil são extraídas de plantas topográficas cadastrais, ortofotocartas e de posicionamento GPS.

As altitudes e distâncias do gráfico fornecem a linha de perfil na direção de um plano. Para obter perfis em outras direções é preciso repetir a tarefa inserindo novos prédios e árvores. Por outro lado o projeto de instalação de antenas, além das já implantadas, enfrenta a variável das alterações do meio urbano gerando problemas de intervisibilidade.

Cartas topográficas de diferentes escalas e datums, coordenadas obtidas por GPS e inseridas nos perfis, requerem o uso adequado da informação cartográfica, para os gráficos reflita a realidade em estudo.

A metodologia apresentada neste artigo está apoiada Realidade Virtual não imersiva, Radiopropagação e Cartografia. Permite a construção de um mundo virtual para implantar rádio enlaces. Este mundo virtual é modelado em tempo real através da VRML (*Virtual Reality Modeling Language*). O mundo virtual é controlado através de botões e recursos adicionais introduzidos na programação para oferecer ao usuário a visualização tridimensional do cenário construído para estudar a intervisibilidade.

Um computador de configuração similar ou superior a de um Pentium 4, processador de 1,5GHz, RAM de 256MB e placa de vídeo de 32MB, permite realizar a metodologia

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A representação gráfica de objetos em Computação Gráfica corresponde a dados de saída de operações envolvendo geometria analítica, álgebra linear. Estes

objetos são posicionados através de cálculos de translações e orientados através de rotações, de acordo com BANON (1989); FOLEY et al (1996); McCARTHY, (1998); SHIRAI, (1987); BALLARD, (1982); LAY, (1999). Portanto, a estrutura matemática implícita na visualização tridimensional, representa os fundamentos para utilizar as linguagens de modelagem em Realidade Virtual no processo de montagem de cenários reproduzindo situações concretas do mundo exterior ao computador.

Os perfis topográficos fornecem parte da intervisibilidade, que depende também de edificações e árvores cujas posições possam bloquear a visada. A Figura 1 mostra um exemplo desta situação.

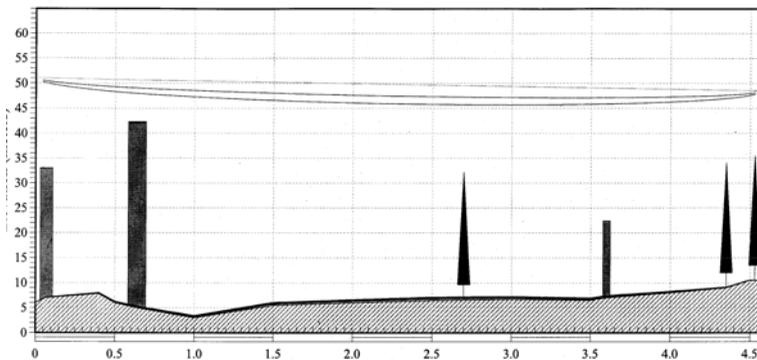


Fig.1 - Perfil topográfico contendo árvores e prédios.

Na Figura 1 a escala vertical do perfil (eixo y) está em metros, e a escala horizontal (eixo x) em quilômetros.

Devido à difração da radiação eletromagnética propagando na atmosfera é produzido o elipsóide de Fresnel entre as antenas diretivas. O dimensionamento do elipsóide de propagação depende da distância e freqüência do sinal, segundo SMIT (1987); SILVA (1977). A Figura 2 mostra o raio de Fresnel a meia distância entre os pontos *A* e *B*. O comprimento do enlace é a distância *D*, e λ o comprimento da onda eletromagnética.

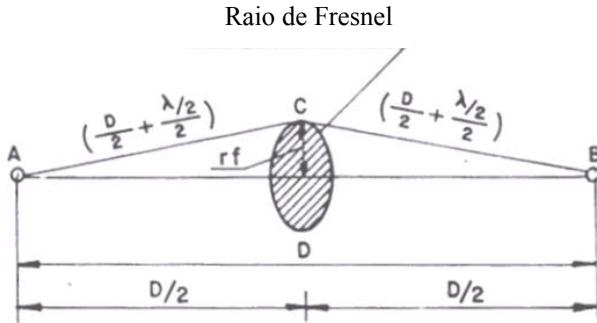


Fig.2 - Raio de Fresnel.
Fonte: Smit (1987).

As antenas diretivas concentram a energia eletromagnética em uma direção do espaço, conforme FARUQUE (1996). O diagrama da antena isotrópica comparada ao diagrama da antena direcional caracteriza o ganho da antena, como mostra a Figura 3. Portanto é necessário haver desbloqueio do elipsóide de Fresnel que ocupa o máximo de energia eletromagnética permitindo a radiovisibilidade entre antenas.

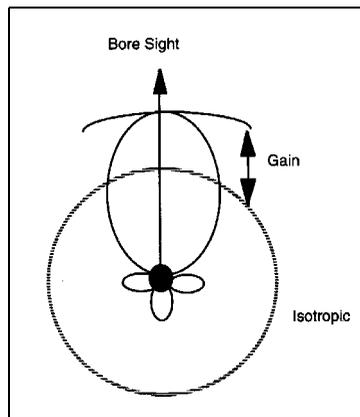


Fig. 3 - Diagramas de antena isotrópica e direcional.
Fonte: Faruque (1996).

A técnica manual de obtenção da intervisibilidade aplicada a rádio enlaces considera um plano cartesiano contendo o perfil topográfico, e seções verticais de prédios e árvores. Também é inserida a seção de um elipsóide de propagação entre

antenas, para ser obtida a radiovisibilidade, que requer a não obstrução do elipsóide por obstáculos no terreno, segundo SMIT (1987).

A curvatura terrestre e refração atmosférica influenciam na intervisibilidade. O horizonte da superfície física da Terra, de acordo com o aumento da distância, pode bloquear a visada. Na distância de 5km, curvatura e refração combinadas resulta em cerca de 1,7m de erro em altimetria, conforme ESPARTEL (1961); o erro planimétrico devido a curvatura terrestre na distância considerada é de menor magnitude, segundo LOCH e CORDINI (1995).

A qualidade da informação cartográfica é importante na construção de cenários urbanos tridimensionais. Na VRML são construídos, posicionados e orientados prédios, ruas, relevo, com base em dados cartográficos extraídos de cartas topográficas de várias escalas, de acordo com FAIRBAIRN e PARSLEY (1997); REDDY et al (2001).

Editores de cenários urbanos possibilitam a modelagem desde casas e edifícios até cidades inteiras, de acordo com FILHO (2003).

A visualização tridimensional do relevo é um dos recursos oferecidos na VRML, CANDEIAS e WELLINGTON (2001).

O Padrão de Exatidão Cartográfica deve ser observado na aplicação de dados cartográficos contidos em cartas, de acordo com BURITY e PHILIPS (1999). O decreto-lei nº 89.817, publicado no Diário Oficial da União, de 20-06-1984 (disponível em: <<http://www.concar.ibge.gov.br/CCA32.HTM>>. Consulta em 13.09.2002), estabelece normas que classificam os documentos cartográficos em função da sua qualidade geométrica.

As coordenadas obtidas por posicionamento GPS estão no sistema geodésico geocêntrico WGS84 (*World Geodetic System of 1984*), elipsóide de referência GRS80 (*Geodetic Reference System 1980*), conforme SEEBER (1993). Para utilizar as coordenadas geográficas no datum SAD69 é necessário transformar as coordenadas de WGS84 para SAD69, de acordo com MONICO (2000). Existem também parâmetros de transformação entre SAD69 e Córrego Alegre, de acordo com IBGE (1996).

As alturas elipsoidais h , obtidas com GPS, são unicamente geométricas, não tendo significado físico. As altitudes relacionadas ao campo de gravidade externo da Terra são denominadas de altitudes ortométricas, de acordo com GEMAEL (1999). O GPS não fornece altitudes ortométricas. Para obter a altitude ortométrica é preciso utilizar a ondulação geoidal N obtida do modelo de geóide adotado oficialmente no Brasil, MGB-92, Mapa Geoidal do Brasil, elaborado pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística).

Um Modelo Digital de Terreno é um arquivo de coordenadas x , y , z de pontos, onde as alturas y são referenciadas a um plano, de acordo com PORTUGAL (1991). Também através de processamento de imagens é possível construir Modelos de Elevação Digital, conforme TEICHRIEB (2002). Portanto é preciso adaptar os dados de entrada a finalidade de precisão da aplicação.

O expectador através da VRML tem disponível uma interface e um *toolbar* de botões padrões para controle do mundo virtual. Além destes botões, pode-se programar em VRML e modelar cenários atendendo finalidades específicas, a exemplo da definição das coordenadas tridimensionais cartesianas de pontos de vista, conforme SCHROEDER (2001). Durante a criação de um mundo virtual urbano ou rural usuário define os melhores pontos de vista no estudo da radiovisibilidade local.

A partir de cartas topográficas pode-se gerar a representação tridimensional do relevo construindo um Modelo Digital de Terreno. É inserido no MDT um plano para destacar a seção do terreno, de acordo com CANDEIAS e WELLINGTON (2001). A realização em tempo real do perfil topográfico em várias direções e a simultânea visualização tridimensional do MDT facilita a aplicação de perfis a problemas práticos.

Utilizando a plataforma SPRING 3.6, pode-se gerar grades a partir de pontos extraídos de curvas de nível vetorizadas de cartas topográficas preservando escala, sistema de projeção e datum. Estas grades são arquivos de coordenadas x , y , z que abastecem linguagens de modelagem computacional como a VRML, gerando MDT.

A área de cobertura no sistema celular móvel é dividida em células com Estações Rádio Base (ERB) e antenas em torres formando rádio enlaces, segundo ALENCAR (2001). A Figura 4 mostra o esquema de divisão de área.

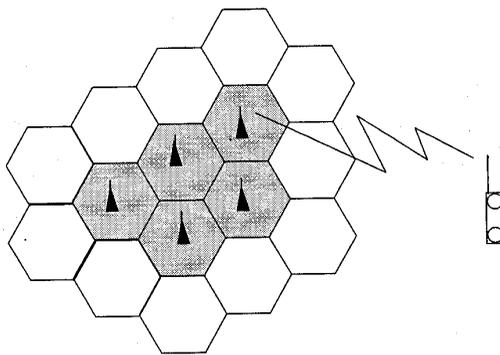


Fig. 4 - Sistema celular.
Fonte: Alencar (2001).

3. METODOLOGIA

As etapas da metodologia utilizada para modelar rádio enlace em Realidade Virtual são apresentadas na Figura 5.

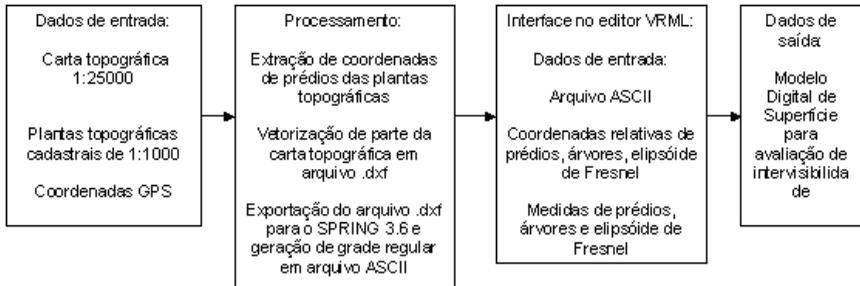


Fig.5 - Metodologia de modelagem de rádio enlace.

As curvas de nível de um trecho da carta topográfica são georreferenciadas e vetorizadas através de uma mesa digitalizadora e transformadas em um arquivo .dxf.

Depois este arquivo é exportado para a plataforma SPRING 3.6 e convertido para uma grade regular ASCII, formada das coordenadas x , y , z . O SPRING conserva a escala, o sistema de projeção e datum.

As coordenadas da grade regular são os dados de entrada para construção do MDT em VRML. As coordenadas relativas e dimensões de prédios e árvores são os outros dados que abastecem o editor de VRML na modelagem do Modelo Digital de Superfície ou mundo virtual.

Dentro desta metodologia foi desenvolvida uma nova técnica de modelagem de grades denominada de "dividir para conquistar". Esta técnica permite que grande arquivo de grades seja processado para construção de um MDT. Cada grade é interpretada na VRML como um objeto e através de rotações adequadas é "montado" o conjunto formando a grade inteira. Recomenda-se na VRML o limite da dimensão de matrizes de 100×100 para cada grade.

O editor de VRML modela individualmente vários cenários de rádio enlaces, podendo visualizar cada enlace de uma rede maior de cobertura de telefonia celular móvel.

4. ESPECIFICAÇÃO DA ARQUITETURA

Na Tabela 1 mostra-se a relação entre alguns objetos do mundo real, a correlação com os objetos modelados em VRML, e a origem dos dados.

Tabela 1 - Relação entre objetos geométricos, do mundo real, e objetos VRML.

<i>Código VRML</i>	<i>Objeto VRML</i>	<i>Dado de entrada para modelagem do objeto</i>	<i>Objeto real representado</i>	<i>Dados de origem</i>
ElevationGrid	Grade regular	Grade UTM	MDT	Vetorização de curvas de nível georeferenciadas
geometry Cylinder	cilindro	Altura, raio, coordenadas relativas	Torre de suporte de antena	Empresa de telefonia celular e posicionamento GPS
geometry Box	Paralelogramo	Altura, largura, comprimento, coordenadas relativas	Prédio	Empresa de telefonia, planta topográfica cadastral, GPS
geometry Sphere	Elipsóide de revolução	Raio, comprimento azimute do eixo-maior, coordenadas do centro	Elipsóide de Fresnel	Empresa de telefonia, cálculos em MATLAB

A VRML possui propriedade para transladar e rotacionar objetos dentro de um sistema de coordenadas tridimensionais. Portanto, pode-se relacionar o sistema de coordenadas VRML com o UTM da carta.

A projeção UTM tem a propriedade de conservar os ângulos, importante na orientação das antenas. Outra propriedade da projeção UTM é a representação dos paralelos e meridianos através de um sistema cartesiano, que concorda com a representação destas linhas na grade VRML.

Para representar o MDT, apresenta-se um exemplo da sintaxe VRML adotada:

```

Transform {translation 0.0 0.0 0.0
  children[
  Shape {
  appearance Appearance {
  material Material {diffuseColor 0.5 1.0 0.5 }}
  geometry ElevationGrid {
  xDimension 70
  zDimension 41
  xSpacing 100
  zSpacing 100
  solid FALSE
  height [ ]

```

O código da torre de exemplo contendo os valores acima é:

```

Transform {translation 1875.114 0 2627.851 children [ Shape {
  appearance Appearance { material Material {diffuseColor 0.0 0.0 1.0
  }}
  geometry Cylinder { height 45 radius 2 }}}

```

No código *translation* o MDT é posicionado para coincidir com a origem do sistema de coordenadas VRML. Em *xDimension 70* e *zDimension 41* tem-se as dimensões da grade equivalente a 7000m por 4100m, e em *xSpacing 100* e *zSpacing 100*.

Também a VRML possibilita a inclusão de texturas sobre os objetos para produzir realismo. Imagens de satélite e fotografias aéreas podem ser colocadas sobre o MDT.

Em *height []* são introduzidos os valores da grade ASCII. A Figura 6 apresenta o painel do editor VRML.

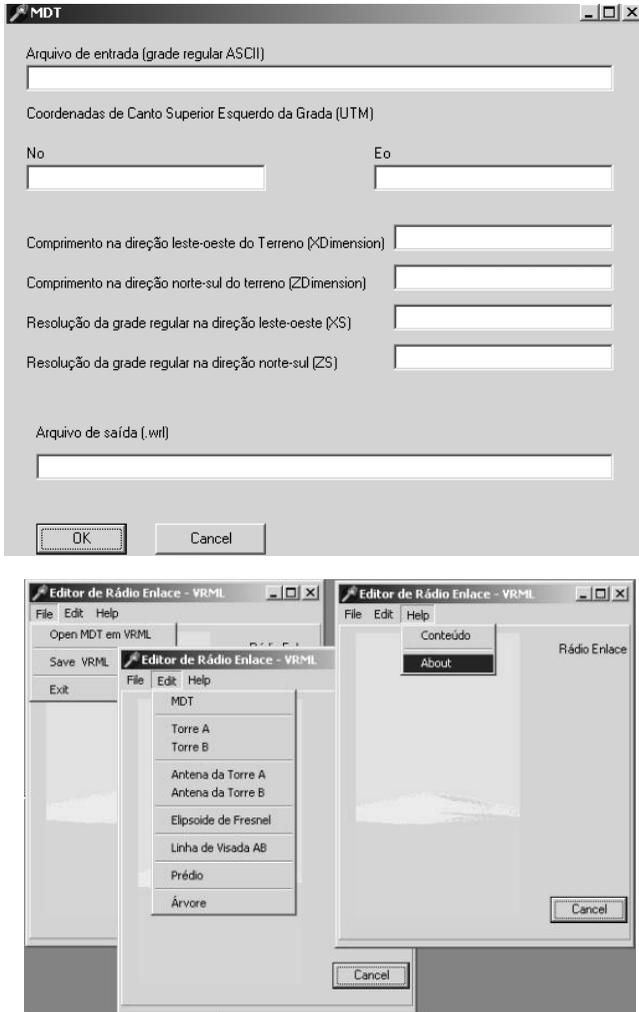


Fig. 6 - Painel do editor VRML para construção do MDT.

5. ÁREA TESTE E VALIDAÇÃO DA MODELAGEM

A área está localizada em Recife-PE, e corta os bairros da Várzea, Cidade Universitária, Iputinga, Cordeiro e Torre. As dimensões aproximadas são de 7000m

por 4000m. O terreno apresenta baixas declividades, com poucos prédios e árvores com mais de 30m de altura. As coordenadas UTM das ERB são: ERB A: 9.110.432mN; 284.911mE, ERB B: 9.109.946mN; 289.487mE

A validação da metodologia consistiu na modelagem de um rádio enlace real na área teste. O comprimento do rádio enlace é de aproximadamente 4,6km, opera com o sinal de frequência de 23Ghz. A modelagem do cenário indicou uma perfeita junção gráfica dos objetos do cenário.

No teste de validação foi confirmada a coerência das coordenadas dos objetos utilizadas na construção do MDS, e também das suas dimensões. Na hipótese das coordenadas da torre ou altura da antena não corresponderem à realidade, ocorreria o não alinhamento do elipsóide de Fresnel com as antenas. Outra hipótese visualizável é a do bloqueio do elipsóide por prédios ou árvores. Na programação foi definida transparência de 55% na superfície do elipsóide de Fresnel para observar imersão de prédios no elipsóide, não sendo notado o bloqueio parcial.

A Figura 7 mostra a interface exibindo o MDT com o elipsóide entre torres. Nesta ilustração tem-se a saída do editor. Na esquerda a opção gráfica foi *Smooth Shading* e na direita a *Wire Frame*.

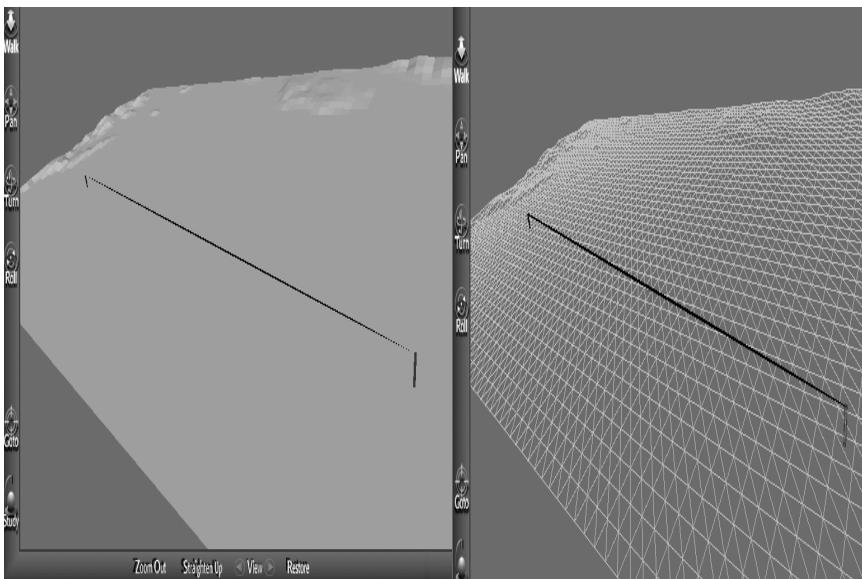


Fig.7 - Saída do editor VRML.

6. CONCLUSÃO

O editor VRML desenvolvido neste trabalho é uma ferramenta importante na visualização tridimensional de rádio enlace até cerca de 5km, permitindo construir e corrigir em tempo real um Modelo Digital de Superfície para avaliar a intervisibilidade entre antenas direcionais operando na área de cobertura da telefonia celular.

Este trabalho mostra uma especificação da linguagem VRML utilizando um embasamento cartográfico.

Finalmente, este trabalho pode servir de base para outros trabalhos que utilizam o conceito de intervisibilidade, bem como da construção de mundos virtuais com aplicações reais de engenharia.

7. REFERÊNCIAS

- ALENCAR, MS. **Sistemas de Comunicações**. Editora Érica LTDA. 2000. 296p.
- BALLARD, DH; BROWN, CM. **Computer Vision**. Prentice-Hall Inc. 1982. 523p.
- BANON, GJF. **Bases da Computação Gráfica**. Editora Campus. 1989. 141p.
- BURITY, ED; PHILIPS J. **Qualidade de Dados para o Mapeamento**. XIX Congresso Brasileiro de Cartografia. Recife/Olinda - PE -1999. 1 CD-ROM.
- CANDEIAS, ALB; WELLINGTON, PS. **Utilização da Realidade Virtual para Geração de Modelos e Perfis Topográficos**. XX Congresso Brasileiro de Cartografia. Porto Alegre - RS - 2001. 1 CD-ROM.
- ESPARTEL, L. **Curso de Topografia**. Editora Globo. 9a Edição. 1960. 655p.
- FAIRBAIRN D; PARSLEY, S. **The Use of VRML for Cartographic Presentation**. COMPUTER & GEOSCIENCES, 1997, Vol. 23, No. 4, p.475-481.
- FARUQUE, S. **Cellular Mobile Systems**. Artech House Publishers. Norwood - MA - USA. 1996. 292p.
- FILHO, MSCA. **Um editor de cenários urbanos para aplicação de Realidade Virtual**. Dissertação de mestrado. Centro de Informática. Universidade Federal de Pernambuco. 2003. 162p.
- FOLEY, JD; DAM, A; FEINER, SK; HUGHES, JF; PHILLIPS, RL. **Introduction to Computer Graphics**. Addison-Wesley Publishing Company. 1994. 557p.
- GEMAEL, C. **Geodésia Física**. Editora da Universidade Federal do Paraná. Curitiba - PR. 1999. 302p.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E STATÍSTICA - IBGE. Diretoria de Geociências. Departamento de Geodésia. **Especificações e Normas Gerais para Levantamentos Geodésicos. (coletânea das normas vigentes)**. Rio de Janeiro - RJ. 1996. 52p.
- LOCH, C; CORDINI, J. **Topografia contemporânea**. Editora da Universidade Federal de Santa Catarina. 1995. 320p.

- LAY, DC. **Álgebra Linear e suas Aplicações**. Tradução: Ricardo Camelier, Valéria de Magalhães Iório. Livros Técnicos e Científicos Editora S.A. 2a Edição. 1999. 504p.
- MACCARTY, M; DESCARTES, A. **Reality Architecture - Building 3D worlds Java and VRML**. Prentice-Hall Europe. 1998. 382p.
- MONICO, JFG. **Posicionamento pelo NAVSTAR-GPS - Descrição, fundamentos e aplicações**. Editora UNESP. 2000. 287p.
- PORTUGAL, JL. **Pré-Processamento e Armazenamento de Dados Altimétricos Obtidos por Restituição Digital**. 1992. 105p. Dissertação de Mestrado. IME - Instituto Militar de Engenharia - Rio de Janeiro - RJ.
- REDDY, M; IVERSON, L; LECLERC, YG. **Under the Hood of GeoVRML 1.0**. In: Proceedings of the Fifth Web3D/VRML Symposium. 2000. Disponível em: <<http://www.sri.com>>. Acesso em: 13/11/2002.
- SEEBER, G. **Satellite Geodesy**. Walter de Gruyter & Co. Berlin - Germany. 1993. p.531.
- SILVA, G. **Sistemas Radiovisibilidade**. Livros Técnicos e Científicos Editora S.A. Editora Embratel. 1977. 629p.
- SMIT, J. **Rádio Propagação**. Livros Érica Editora LTDA. 1987.138p.
- SCHROEDER, R; HUXOR, A; SMITH, A. **Activeworlds: geography and social interaction in virtual reality**. Futures. 2001. Vol. 33. p.569-587.
- SHIRAI, Y. **Three-Dimensional Computer Vision**. Springer-verlag. 1986. p.297.
- TEICHRIEB, V; KELNER, J; FRERY, ACO. **Visualization, Analysis and Editing of Digital Elevation Models**. Proceedings of SVR 2002 -V Symposium on Virtual Reality. Fortaleza - CE. 7-10 October 2002. p.250-261.

INTEGRAÇÃO DE IMAGENS MATRICIAIS E VETORIAIS NA VISUALIZAÇÃO DOS LEVANTAMENTOS REALIZADOS COM A UNIDADE MÓVEL DE MAPEAMENTO DIGITAL

Rodrigo Bezerra de Araújo Gallis¹
João Fernando Custódio da Silva²
Ricardo Luis Barbosa³

- 1 Universidade Estadual Paulista – rodrigo@prudente.unesp.br
- 2 Universidade Estadual Paulista – jfcsilva@prudente.unesp.br
- 3 Universidade Estadual Paulista – ricardo@prudente.unesp.br

RESUMO

A união da Cartografia e da Informática auxilia as atividades de planejamento, tornando mais rápido o processo de tomada de decisão. A disponibilidade de equipamentos com maior capacidade de processamento e armazenamento de informações e o auxílio da Computação Gráfica permitiram a ampliação do horizonte cartográfico. O emprego de meios digitais para aquisição, armazenamento, manipulação, análise e exibição de objetos e informações é uma realidade incontestada. Entre os novos métodos de levantamento que se utilizam da informatização da Cartografia e das técnicas digitais destacam-se os sistemas móveis de mapeamento digital. Uma unidade móvel de mapeamento digital foi desenvolvida, de modo que imagens de ruas e rodovias foram tomadas ao longo dos percursos e posteriormente georreferenciadas e armazenadas em um banco de imagens. Estas imagens fundamentaram a construção de mapas digitais urbanos e rodoviários. O presente trabalho propõe-se a mostrar o conceito funcional do programa que faz a conexão entre os mapas digitais, as imagens e os vídeos (*video clips*) que podem ser visualizados de maneira integrada, de modo que o observador pode acompanhar um trecho do percurso no vídeo concomitantemente com sua posição indicada no mapa juntamente com a imagem relacionada a um dado objeto representado no mapa.

Palavras-chave: Mapeamento Móvel; Visualização de Dados, Integração de Dados

ABSTRACT

The association of the Cartography and Informatics supports the planning activities in such a way that the decision making process comes to be faster. The

availability of equipment with larger capacity of information processing and storage and the aid of Graphics Computation have allowed the enlargement of the cartographic horizon. The use of the digital techniques for acquisition, storage, handling, analysis, and exhibition of objects and information is an unquestionable reality. Mobile mapping systems are among the recent methods for surveying and mapping that make use of the association between Cartography and the digital techniques. A mobile mapping unit has been developed to acquire road images while driving along them. The images were georeferenced and then stored in a road image database. These images were used to make the digital road maps. This paper presents the functional concept of the computer program which shows the links among the digital maps, the still images, and the video clips. The simultaneous visualization is achieved by showing a video clip and its correspondent position in the map and also with a still image linked to a given object represented in the map.

Keywords: Mobile Mapping; Data Visualization, Data Integration

1. INTRODUÇÃO

A Cartografia nunca foi uma ciência com fim em si própria. Sempre foi uma ferramenta de extrema importância e passível de aplicação nas mais distintas áreas. O mesmo pode ser afirmado sobre a Informática. A união destas duas poderosas ferramentas vem revolucionando as atividades de planejamento, controle de fluxo e rapidez nas tomadas de decisões (Ferreira, 1998).

A disponibilidade de equipamentos com maior capacidade de processamento e armazenamento de informações, bem como o desenvolvimento da Computação Gráfica, permitiram a ampliação do horizonte cartográfico (Ferreira, 1993).

O emprego de meios digitais para aquisição, armazenamento, manipulação, análise e exibição de objetos e informações é uma realidade incontestada.

Nos últimos anos houve uma proliferação de Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), sendo usados para diversos fins e por uma gama diferente de usuários. O grande interesse nos SIGs reflete o fato de que as informações georreferenciadas, necessárias para o gerenciamento e decisão, precisam ser produzidas com relativa precisão e rapidez. Uma das vantagens dos SIGs é que eles podem manipular dados gráficos e não-gráficos de forma integrada, provendo uma forma consistente para análise envolvendo dados geográficos. Pode-se por exemplo, ter acesso a registros de imóveis a partir de sua localização geográfica.

Informação referenciada espacialmente é um requisito essencial para SIGs de abrangência local, regional e nacional. Ela serve para planejar a locação de novas indústrias, hospitais, estradas e áreas de habitação.

Os dados manipulados pelos SIGs podem ser entidades ou fenômenos geográficos distribuídos na superfície terrestre, podendo pertencer a sistemas naturais ou criados pelo homem, tais como tipos de solos, vegetação, cidades, redes de telefonia, fluxo de veículos, etc. Podem ser também objetos resultantes de projeto envolvendo entidades que ainda não existam, como por exemplo, o planejamento de uma barragem para construção de uma usina hidroelétrica. Até hoje os mapas têm sido as principais fontes de dados para o SIG, e o levantamento de campo, o principal processo de coleta de dados.

Na Cartografia, a integração de tecnologias digitais vêm criando novas opções de abordagem de problemas recentes ou já conhecidos, propiciando o surgimento de outros produtos ou serviços distintos dos que já existem e exigindo recursos humanos qualificados. A combinação de dados espaciais e temporais, obtidos com base nestas integrações, pode ser o princípio básico para a solução de vários problemas do mapeamento. Uma das possibilidades são os Sistemas Móveis de Mapeamento (SMM), que são alternativas criativas que integram sensores e dados de posicionamento e imageamento, permitindo o mapeamento pormenorizado do mundo real. Os sistemas móveis de mapeamento podem ser definidos como plataformas móveis sobre as quais são integrados sistemas de posicionamento (receptores GPS) e de imageamento (câmaras) para prover rápida e eficientemente a coleta de informações sobre os atributos do espaço objeto a partir de imagens.

No Brasil, especificamente em Presidente Prudente - SP, na FCT/Unesp, foi desenvolvido um sistema denominado Unidade Móvel de Mapeamento Digital (UMMD), constituído por um veículo, um par de videocâmaras, um par de receptores GPS (Global Satellite System) e uma estação computacional (figura 1).

FIGURA 1 – UNIDADE MÓVEL DE MAPEAMENTO DIGITAL



Com o propósito de investigar a funcionalidade da UMMD, foram executados dois projetos de mapeamento topográfico: o primeiro referente a ruas de uma área urbana periférica constando de três quarteirões (Jardim Maracanã, Pres. Prudente,

SP), resultando em um mapa na escala 1:1.000 (Guardia et al., 1999) mostrado na figura 2; o segundo diz respeito a um trecho de cerca de 11 km, compreendendo parte da Av. Manoel Goulart, Rodovia Raposo Tavares, Rodovia Júlio Budiski e Estrada da Amizade, nos arredores de Pres. Prudente, tendo por resultado um mapa digital projetado para a escala 1:10.000 contendo imagens de feições importantes, como placas de sinalização por exemplo, conectadas ao mapa (Delgado et al., 2000) mostrado na figura 3.

Buscando a melhor utilização das imagens, vídeos e mapas digitais e das informações relacionadas a cada uma delas, foi proposta a elaboração de um programa computacional que realizasse a visualização destes dados e a ligação entre estes arquivos. O propósito principal do programa é visualizar diferentes tipos de arquivos, como mapas, vídeos e imagens digitais, em um mesmo ambiente. Foram criados os seguintes módulos: visualizador do mapa que permite ver o vídeo e a imagem, visualizador da trajetória do levantamento e visualizador de imagem aérea com mapa e vídeo.

O presente trabalho visa mostrar as etapas de desenvolvimento da primeira versão do visualizador que integra imagens, mapas e vídeos provenientes do Sistema Móvel de Mapeamento da FCT/Unesp.

FIGURA 2 – MAPA TOPOGRÁFICO DO JD. MARACANÃ (MAPA ORIGINAL IMPRESSO NA ESCALA 1:2.000)

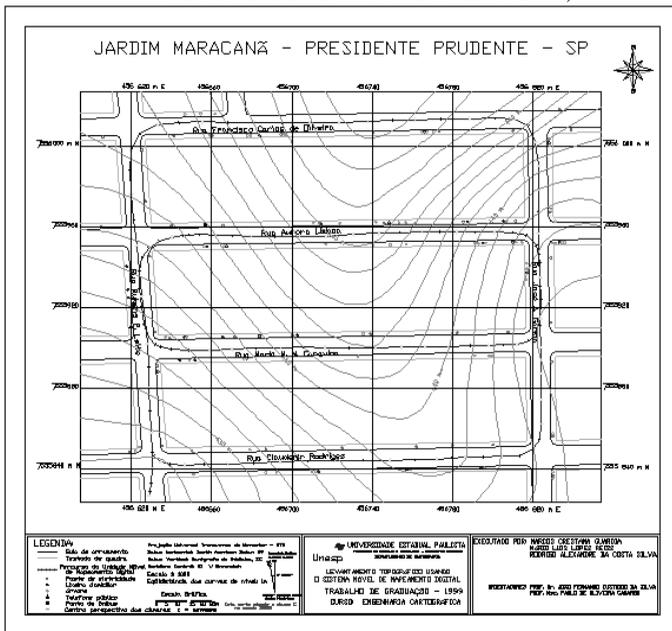
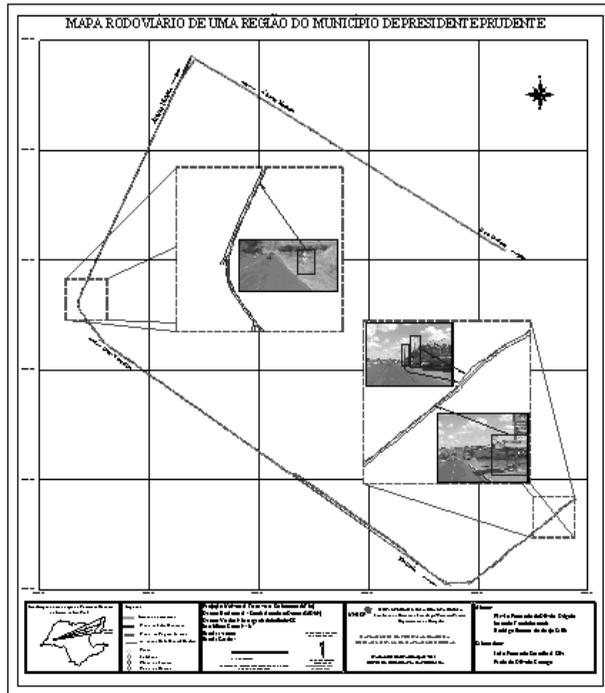


FIGURA 3 – MAPA TOPOGRÁFICO RODOVIÁRIO DOS ARREDORES DE PRESIDENTE PRUDENTE (MAPA ORIGINAL IMPRESSO NA ESCALA 1:10.000)



2. PROPOSIÇÃO DO TRABALHO

Segundo Câmara (2000), há alguns anos a quase totalidade dos SIGs poderia ser enquadrada num ambiente mono-usuário, no qual as diferentes funções (entrada, consulta, análise e visualização) são acessadas em uma única interface. Atualmente há uma grande diversificação de ofertas com pelo menos quatro grandes tecnologias complementares, indicadas a seguir:

- ✓ Os SIGs *Desktop*, com interfaces amigáveis e crescente funcionalidade;
- ✓ Os gerenciadores de dados geográficos, que armazenam os dados espaciais em ambiente multi-usuário;
- ✓ Os componentes SIG, ambiente de programação que fornecem ferramentas para que o usuário crie seu próprio aplicativo geográfico;
- ✓ Os Servidores Web de Dados Geográficos, utilizados para a publicação e acesso a dados geográficos via Internet.

Num SIG *Desktop*, categoria na qual pode se encaixar o programa desenvolvido, os dados geográficos são armazenados de forma separada, com os atributos descritivos guardados em tabelas (usualmente no padrão *Xbase*) e as geometrias em formatos próprios (como os *shapefiles*). Originalmente sistemas simples de consulta e apresentação de dados, os SIGs *Desktop* tem evoluído para oferecer uma crescente gama de funcionalidade, incluindo:

- ✓ Combinação de dados matriciais e vetoriais no mesmo ambiente, com uma integração maior de SIG com Processamento Digital de Imagens;
- ✓ Integração com linguagens de programação que permitem ampliar a funcionalidade disponível;
- ✓ Funções sofisticadas de Análise Espacial;
- ✓ Integração com gerenciadores de dados geográficos;
- ✓ Uso de conceitos de orientação-a-objetos, que permitem uma aproximação melhor entre os problemas do mundo real e sua representação computacional.

A modelagem e implementação do programa que permite ligar as feições representadas no mapa com suas imagens e vídeos baseou-se em um programa SIG *Desktop* e um programa CAD. Estes programas possuem uma ferramenta chamada *Hotlink*, que permite a execução da ligação mapa (vetorial)/imagem (matricial): o *Arcview*, *software* desenvolvido e comercializado pela empresa norte-americana *ESRI - Environmental System Research Institute, Inc*, e que é um dos sistemas de informações geográficas mais utilizados por empresas e instituições acadêmicas de todo o mundo e o *Microstation SE*, produzido pela *Bentley*, um sistema CAD (*Computer Aided Design*), que utiliza um arquivo de desenho (DGN), que não contém explicitamente a topologia nem os atributos dos dados.

Durante a confecção dos mapas do Trabalho de Graduação realizado em 2000 (Delgado et al., 2000), surgiu a idéia de ligar as imagens correspondentes às feições mapeadas, já que o *software Microstation SE* permitia a realização desta ligação.

Para efetuar-se a visualização das imagens ou dos vídeos, havia a dependência do ambiente de um dos dois programas que realizavam a ligação, no caso o *ArcView* ou o *Microstation*. Houve então a idéia de construir um programa que realizasse este tipo de visualização.

Já existem vários programas desenvolvidos e em uso que desempenham função similar. Há programas de navegação que possuem imagens de certos locais ligadas às feições do mapa. A Internet é o lugar onde mais se encontra aplicações para esta área. Mapas ligados com vídeos e imagens dos locais representados facilitam a navegação/visualização e localização do usuário, conforme mostra a figura 4, em um SIG de localização de proprietários, que mostra a integração de imagens aéreas e terrestres juntamente com o mapa do local.

Na figura 5, mostra-se um programa desenvolvido que faz parte de um sistema móvel de mapeamento na Austrália.

FIGURA 4 – MÓDULO SIG QUE MOSTRA A IMAGEM DA PROPRIEDADE E SUA LOCALIZAÇÃO NO MAPA (WWW.ESRI.COM)

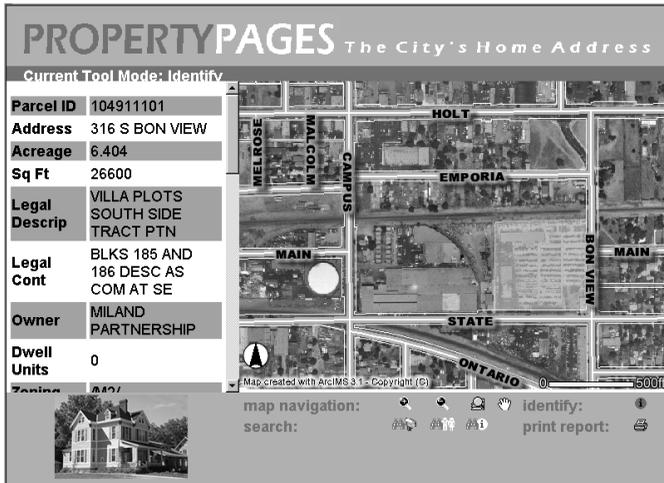
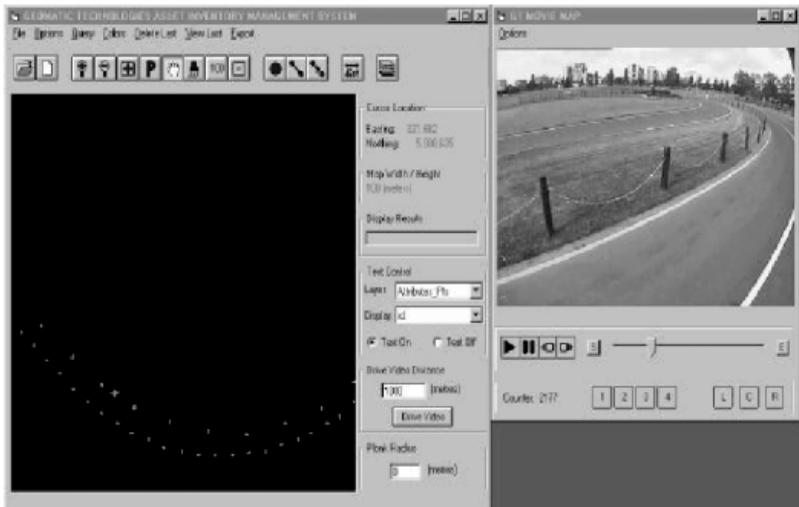


FIGURA 5 – MÓDULO SIG QUE MOSTRA A TRAJETÓRIA DO VEÍCULO, COM O VÍDEO DAS FEIÇÕES QUE FORAM COLETADAS E SEUS RESPECTIVOS ATRIBUTOS (BUTCHER ET AL., 2001)



3. CONSTRUÇÃO E UTILIZAÇÃO DO PROGRAMA

A construção do programa foi executada procurando atingir os objetivos os seguintes objetivos: ligação do mapa com vídeo e imagens, e, ferramenta que permitisse mostrar a posição do veículo no mapa.

Assim sendo, foram criados os seguintes módulos: visualizador do mapa que permite ver o vídeo e a imagem, visualizador da trajetória do levantamento e visualizador de imagem aérea com mapa e vídeo.

3.1. ESTRUTURAÇÃO DO PROGRAMA

Como já foi dito inicialmente, a estruturação do programa teve como inspiração e exemplo a possibilidade de ligar feições mostradas em um mapa com suas respectivas imagens e vídeos assim como é executado por programas como o Microstation SE e o ArcView GIS.

Estes programas utilizam, no caso particular do ArcView, de uma ferramenta chamada *Hotlink*. O *Hotlink* permite ao usuário acessar virtualmente qualquer dado ou aplicação direta através da tela do programa. Por exemplo, quando o usuário seleciona uma construção representada na tela por um polígono e olha a vista frontal desta construção através de uma fotografia, ou seleciona um monumento histórico representado no mapa e visualiza um vídeo do local onde o mesmo se encontra.

Um *hotlink* através de uma feição, no caso do ArcView, funciona da seguinte maneira: o usuário seleciona a feição e associa o identificador (ID) desta feição ou um campo específico na tabela de atributos do tema, não necessariamente o ID, e configura uma ação que irá abrir uma outra vista mostrando uma imagem ou um vídeo selecionado.

A ação especificada está diretamente ligada ao ID da feição selecionada, sendo que o usuário ao predefinir a ação mostra ao programa onde se encontra o dado que será ligado à feição selecionada. No caso deste dado vir a ser mudado de lugar (diretório onde se encontra armazenado), a ação perderá sua funcionalidade. Abaixo, na Tabela 1, um exemplo simplificado de um esquema funcional de um *Hotlink*:

TABELA 01 – ESQUEMA FUNCIONAL DE UM *HOTLINK*

COVER-ID	PATHNAME
1	c:\videos\id1.avi
2	c:\videos\id2.avi
3	c:\videos\id3.avi
4	c:\videos\id4.avi
5	c:\videos\id5.avi

Basicamente o programa implementado segue este esquema de funcionamento. Os dados, no caso imagens e vídeos, seguem armazenados em um diretório específico, com o caminho deste diretório cadastrado em uma tabela e, cada dado está ligado à feição pelo identificador da mesma.

Este esquema da ligação é feito para cada tabela dos diferentes planos de informação existentes: árvores, placas, postes, etc. Cadastrando para cada identificador um caminho de vídeo e de imagem na qual a feição aparece representada

3.2. MÓDULO DE VISUALIZAÇÃO DE MAPAS, IMAGENS E VÍDEOS

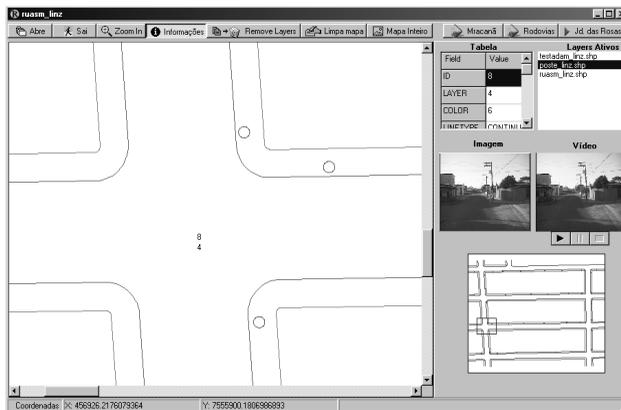
Este é responsável pela integração das feições representadas no mapa com suas imagens e vídeos. Neste módulo é possível realizar a visualização dos mapas, sendo que neste caso, os mesmos já estão com suas feições ligadas aos vídeos e as imagens. Permite ao usuário ver o mapa, localizar uma feição nele representada (postes, placas de sinalização, pontos de ônibus, etc.) e, ao clicar nesta feição, visualizar a imagem do local onde esta feição se encontra e ainda visualizar o vídeo do local conforme ilustra a figura 6.

Possui ferramentas de *zoom*, e permite a inclusão e exclusão de planos de informação, de acordo com a necessidade do usuário.

Após a escolha dos planos de informação (o programa monta o mapa em camadas), clica-se no botão *Informações* e seleciona-se na legenda o plano de informação desejado, a partir daí escolhe-se uma feição no mapa e ao selecioná-la aparecerá a imagem e o vídeo correspondente a mesma.

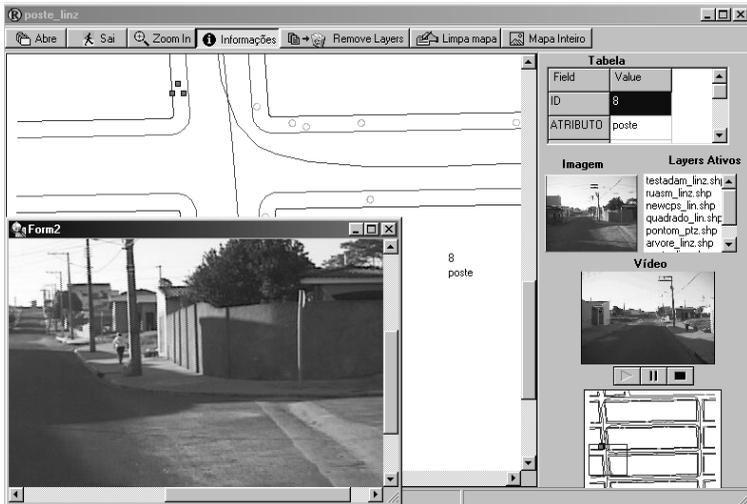
As feições postes, placas e árvores de ambos os mapas possuem ligação com as imagens e vídeos.

FIGURA 6 - VISUALIZAÇÃO DA IMAGEM E VÍDEO DE UM POSTE



O programa também permite que o usuário visualize a imagem da feição em outra tela em uma área maior, permitindo melhor análise da cena. Basta clicar na imagem disponível na tela de visualização dos mapas (figura 7). O programa possui uma ferramenta chamada *Remove Layers*, que permite ao usuário excluir um plano de informação individualmente, sem precisar limpar o mapa inteiro. Esta ferramenta se mostra útil quando a visualização do mapa está muito carregada.

FIGURA 7 – IMAGEM DE UM POSTE AMPLIADA PARA MELHOR VISUALIZAÇÃO



3.3. MÓDULOS DE VISUALIZAÇÃO DAS TRAJETÓRIAS DA UMMD NOS LEVANTAMENTOS REFERENTES AO JD. MARACANÃ E RODOVIAS

Estes são os módulos que se mostraram mais complexos em termos de programação, sendo os mais atraentes do programa em questão. Mostram-se muito úteis para os usuários, pois permitem a realização de supervisão e análise das condições do pavimento de determinado local, dada a posição indicada no mapa.

Nos levantamentos realizados com a UMMD tem-se, após processamento dos dados, o percurso do local mapeado. Estes módulos mostram a posição da UMMD na linha do percurso, juntamente com o vídeo dando ao usuário uma noção de como foi executado o levantamento e como foi percorrido o local mapeado. Tem-se uma poderosa ferramenta para realizar avaliações acerca dos locais mapeados.

Nas figuras 8 e 9 tem-se a visualização da UMMD nos diferentes levantamentos.

Para utilizar os módulos que mostram a trajetória da UMMD no levantamento basta escolher na tela principal do programa as seguintes opções: Jardim Maracanã, Rodovias e Jardim das Rosas.

Ao escolher a opção, uma tela irá se abrir com alguns planos de informação do local mapeado já previamente carregados (testada de quadra, ruas, percurso). O programa também permite a inserção dos outros planos de informação que juntamente com os já disponibilizados formam o mapa.

O programa possui algumas ferramentas que facilitam a navegação e a visualização do usuário. A principal é a janela que mostra em que posição do mapa a UMMD se encontra. Na janela principal, o usuário pode usar recursos de *zoom*, para localizar e visualizar uma feição com maiores detalhes, enquanto que na janela secundária ele continuará a ter a visão total do mapa, com a indicação da área em que ele se encontra no mapa.

FIGURA 8 – VISUALIZAÇÃO DA POSIÇÃO DA UMMD NO MAPA DO LEVANTAMENTO DO JD. MARACANÃ

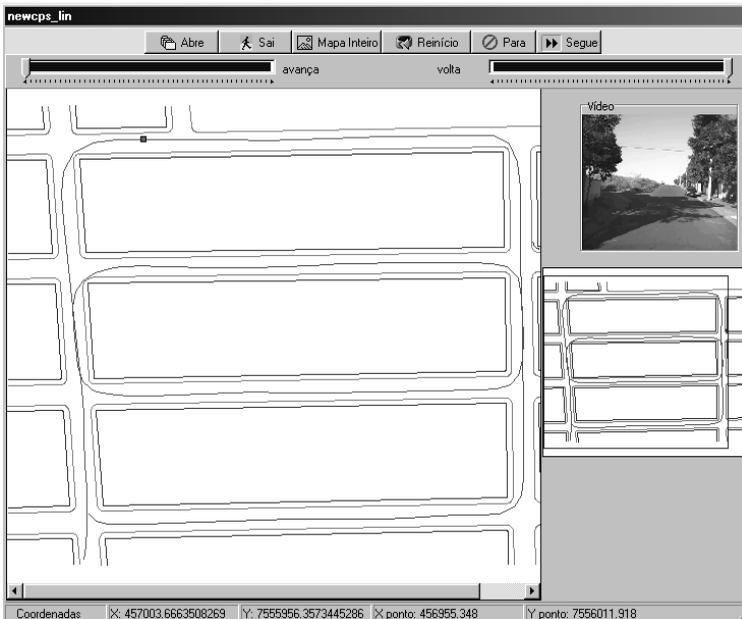
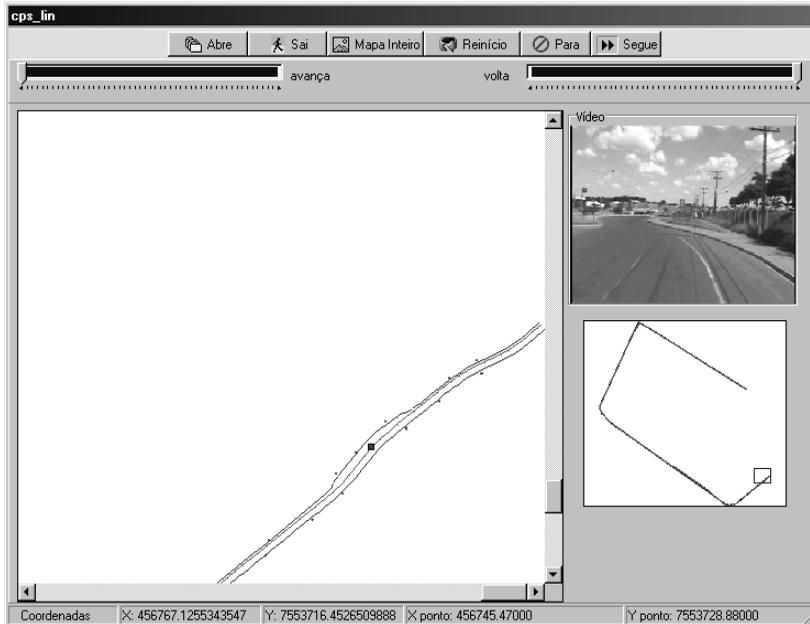


FIGURA 9 - VISUALIZAÇÃO DA POSIÇÃO DA UMMD NO MAPA DO LEVANTAMENTO DAS RODOVIAS



3.4. MÓDULO DE VISUALIZAÇÃO DA TRAJETÓRIA DA UMMD NO LEVANTAMENTO DO JD. DAS ROSAS

A última parte implementada no programa foi o módulo que integra uma imagem aérea com vídeo terrestre filmado com a UMMD, mostrado na figura 10.

Este módulo realiza função semelhante às anteriores, mostra a posição da UMMD no percurso do local mapeado, só que com a adição de uma imagem aérea, cuja finalidade é fornecer melhores detalhes e também um melhor panorama geográfico acerca da região mapeada e proporcionar uma vista do ambiente a partir de duas perspectivas: a visão terrestre dada pelo vídeo e a imagem aérea do local mapeado. Com a finalização deste módulo, deu-se por completa a primeira versão do visualizador para um sistema de mapeamento móvel de mapeamento digital.

FIGURA 10 - VISUALIZAÇÃO DA POSIÇÃO DA UMMD NO MAPA NO LEVANTAMENTO DO JD. DAS ROSAS



4. CONCLUSÃO

O presente trabalho visou mostrar as etapas de desenvolvimento da primeira versão do visualizador que integra imagens, mapas e vídeos provenientes do Sistema Móvel de Mapeamento da FCT/Unesp. Diversos desafios foram enfrentados no desenvolvimento do programa. O maior deles foi, sem sombra de dúvida, a de desenvolver um programa que cumprisse integralmente com os objetivos pré-determinados, ou seja, servisse como um protótipo para uma análise criteriosa da situação atual e que permitisse, para a próxima versão, correções e alterações de modo a aperfeiçoá-lo.

O objetivo foi alcançado e atualmente pode-se direcionar o programa de modo a permitir que se adapte a um cliente com necessidades mais específicas, visto que toda a modelagem e definição das informações foram escolhidas e definidas, procurando dar flexibilidade para que o programa execute visualização de mapas de naturezas e finalidades diversas, não apenas mapas de ruas e rodovias.

O programa será de grande utilidade prática, principalmente nos mapas confeccionados a partir dos levantamentos realizados com a UMMD, pois permitirá a visualização de imagens de feições e do local onde os mesmos foram realizados, dando aos usuários mais uma ferramenta para ajudar na avaliação de aspectos

específicos acerca do local mapeado. Dentre as diversas aplicações e utilidades do programa citam-se:

- ✓ Utilização em administrações municipais para a localização, visualização e gerenciamento das informações referentes a um arruamento;
- ✓ Interesse de empresas relacionadas à conservação de estradas, tais como Departamento Nacional de Estradas e Rodagens (DNER) e terceirizadas;
- ✓ Empresas e organizações que lidam com serviços de utilidade pública: água, energia, (tele)comunicações, transportes etc.

Para finalizar, dada as potencialidades e abrangência de sistemas desta natureza, devem ser incentivados estudos e projetos multidisciplinares para que uma efetiva contribuição possa ser dada à sociedade como um todo.

5. REFERÊNCIAS

BUTCHER, G., FRASER, C., LEAHY, F., JUDD, M., KEALY, A. N., An Integration Methodology for Automating Railway Asset Management in Queensland, Australia. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON MOBILE MAPPING TECHNOLOGY, 3., Cairo, International Archives..., ISPRS, CD-ROM. 12 p., 2001.

CÂMARA, G. As roupas novas do Imperador. **Revista Infogeo**, 12, 2000.

DELGADO, F. F. O.; GALLIS, R. B. A.; MATSUOKA, M. T. Mapeamento de rodovias utilizando a Unidade Móvel de Mapeamento Digital. Trabalho de Graduação do Curso de Engenharia Cartográfica. Presidente Prudente, 2000. 72 p.

ESRI – Environment Systems Research Institute : <<http://www.esri.com>.> Acesso em: 10 setembro. 2002.

____ - **MAPOBJECTS 2.0 – Programmer’s Reference**. 1999.

FERREIRA, L.F. **Estrutura de Dados para a Carta Eletrônica Terrestre**. Rio de Janeiro, 1993.152 p. Dissertação de Mestrado – Instituto Militar de Engenharia.

FERREIRA, L.F. **Avaliação e Integração de Bases Cartográficas para Cartas Eletrônicas de Navegação Terrestre**. São Paulo, 1998. 183 p. Tese de Doutorado – Universidade de São Paulo.

FIRKOWSKI, H.; CARVALHO, C. A. P.; SKROCH, L. S. D.; GONÇALVES, M. A. L. A. O Formato 'Shapefile' como Representação de Dados. IV Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário, CD-ROM, Florianópolis, 2000.

GUARDIA, M. C.; REISS, M. L. L.; SILVA, R. A. C., Levantamento Topográfico usando o Sistema Móvel de Mapeamento Digital. Trabalho de Graduação do Curso de Engenharia Cartográfica. Presidente Prudente, 1999. 111p.

SILVA, A.R., BATISTA, J.C., OLIVEIRA, R.A., CAMARGO, P.O., SILVA, J.F.C. Surveying and mapping of urban streets by photogrammetric traverse. Mobile Mapping Technology Workshop, **Anais...**, Bangkok, 4 p., 1999.

SILVA, J.F.C., CAMARGO, P.O., OLIVEIRA, R.A., GALLIS, R.B.A., GUARDIA, M.C., REISS, M.L.L., SILVA, R.A.C. Mapeamento de ruas com um Sistema Móvel de Mapeamento Digital. **Revista Brasileira de Cartografia**, Curitiba, v.53, p.82-91, 2001.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à UNESP, pela construção do Laboratório de Mapeamento Móvel, à FAPESP, pela compra dos equipamentos e à CAPES pela concessão da bolsa de doutorado.

A TECNOLOGIA DE BANCOS DE DADOS APLICADA AOS SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS

Cyntia Mara Costa

1.Companhia de Informática do Paraná - Celepar – cyntia@pr.gov.br
Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas

RESUMO

Os Sistemas Gerenciadores de Bancos de Dados Espaciais surgiram nas últimas décadas decorrentes da necessidade do armazenamento e gerenciamento de outros tipos de dados que não os convencionais.

A integração de dados espaciais em Sistemas Gerenciadores de Bancos de Dados (SGBD) acarreta alterações e necessidades não contempladas anteriormente nestes sistemas e constituem um desafio para os pesquisadores e produtores.

Este trabalho apresenta uma visão do estágio atual da tecnologia e dos produtos disponíveis no mercado.

Palavras-chave: Bancos de Dados Espaciais; Bancos de Dados Geográficos; Sistemas de Informações Geográficas

ABSTRACT

Spatial Database Management Systems appeared in the last current decades of the need of the storage and management of another data types.

The integration of space data in Database Management Systems (DBMS) it causes alterations and needs not contemplated previously in these systems and they constitute one of the challenges for the researchers and producing of DBMS. In this work an overview is presented and available products in the market.

Keywords: Spatial databases; Geographic databases; Geographic Information Systems

1. INTRODUÇÃO

A preocupação do homem com o seu posicionamento no espaço e a sua relação com os elementos geográficos que o cercam é expressa nos mais primitivos registros da história da humanidade.

O desenvolvimento tecnológico ao longo da evolução humana transformou todos os meios de representação, coleta, armazenamento e produção de dados. A representação dos aspectos naturais e artificiais do mundo em que habitamos talvez tenha sido um dos segmentos nos quais esses avanços foram mais evidenciados.

Esta evolução resultou na transformação dos próprios conceitos das ciências envolvidas na representação das feições geográficas.

Partimos de anotações gravadas nas paredes das cavernas, levantadas empregando passos como instrumento de medição e chegamos ao conceito atual de dados geográficos, obtidos através de leituras diretas em receptores digitais de sinais de satélites de posicionamento.

Esta proliferação de dados geográficos digitais possibilitou o seu uso em sistemas de informações inicialmente concebidos para tratar e analisar somente os dados convencionais. Assim análises, combinações e resultados, até então indisponíveis em diversas áreas do conhecimento foram viabilizados através das ferramentas dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG).

Uma das principais características dos SIG é a manipulação de grandes volumes de dados seja pela facilidade de produção e redução dos custos que as novas tecnologias provocaram, seja pelas características intrínsecas do dado geográfico onde cada feição é composta de informações geométricas e descritivas.

Este aumento considerável no volume de dados levantados gerou a necessidade da aplicação de novas técnicas para armazenamento e gerenciamento dos dados geográficos.

Por analogia aos dados convencionais, o caminho natural para tratar com dados geográficos é a utilização da tecnologia de bancos de dados, que é a área da ciência da computação que trata do armazenamento e gerenciamento de dados.

Os procedimentos para armazenamento e gerenciamento de dados alfanuméricos, ditos convencionais, são simples de serem implementados em Sistemas Gerenciadores de Bancos de Dados (SGBD) convencionais. Estes sistemas tratam os dados como um conjunto de registros onde cada registro possui campos com formatos padronizados.

Porém, se a questão envolve o espaço geográfico ocupado pelos objetos descritos nas bases alfanuméricas, esta situação não é tão direta e nestes casos, necessita-se recuperar registros baseados em propriedades espaciais que não são necessariamente armazenadas em SGBD convencionais.

Inicialmente os SIG separavam as características geométricas e descritivas em estruturas distintas. As estruturas geométricas eram armazenadas em estruturas

proprietárias que apenas os desenvolvedores do produto dominavam. As estruturas descritivas estavam sendo normalmente administradas pelos sistemas gerenciadores de bancos de dados relacionais (SGDBR).

Esta arquitetura possibilitava um melhor desempenho do produto SIG, porém não garantia a integridade do objeto, ou seja, o conjunto de suas características geométricas e descritivas.

Para responder às consultas espaciais os bancos de dados devem possibilitar a ordenação e o referenciamento dos dados, de maneira a recuperá-los agilmente. Todos os sistemas de gerenciamento de banco de dados ordenam e referenciam os dados e a questão básica é definir a partir de quais chaves eles serão ordenados.

No caso de dados geográficos o ordenamento deve estar baseado em chaves espaciais, significando que diferentemente dos sistemas de gerenciamento de banco de dados convencionais, a ordenação e o referenciamento estão baseados no espaço ocupado pelos dados. As técnicas que possibilitam este ordenamento são conhecidas como métodos de índices espaciais.

Para resolver estas novas questões, os Sistemas Gerenciadores de Bancos de Dados Espaciais (SGBDE) foram objeto de estudo intenso nas duas últimas décadas e objetivam a administração efetiva e eficiente de dados não convencionais, relacionados a:

- a) espaço, como o mundo físico – geográfico, astronômico;
- b) componentes de organismos vivos - anatomia do corpo humano;
- c) projetos de engenharia - circuitos integrados, projetos de automóveis, estrutura molecular;
- d) informações conceituais do espaço - fluxo de fluídos, campo eletromagnético.

Os SGBDE possibilitam o armazenamento e o processamento eficiente das informações geométricas (espaciais) e descritivas (não espaciais), de maneira adequada, sem favorecer uma em detrimento da outra.

Estima-se que o volume de dados gerados por aplicações espaciais emergentes, como *Earth Observation System* (EOS) da NASA, está entre os maiores já tratados por qualquer aplicação de banco de dados tradicional.

Atualmente todas as grandes indústrias produtoras de sistemas gerenciadores de banco de dados investem nesta tecnologia, incluindo como exemplos o Informix/DB2 da IBM e o Oracle Spatial Data Cartridge da Oracle. Empresas produtoras de softwares para SIG, como o *Environmental Systems Research Institut* (ESRI), também investem em soluções que visam a utilização e o aperfeiçoamento constante das tecnologias envolvidas nesta área.

As funcionalidades providas por estes sistemas incluem conjuntos de dados espaciais do tipo ponto, linha e polígono e conjuntos de operações espaciais. As operações espaciais podem ser executadas a partir de linguagens de consultas, como a *Strutred Query Language* (SQL), que permitem estas operações em sistemas

gerenciadores de bancos de dados objeto-relacional.

O ponto chave destes sistemas inclui um conjunto de índices espaciais multidimensionais e algoritmos para acesso aos métodos espaciais, os métodos espaciais e consultas/junções espaciais.

Este trabalho apresenta uma visão geral dos SGBDE aplicados aos SIG contemplando: o desenvolvimento da tecnologia, as operações espaciais definidas na linguagem SQL/Multimídia e a necessidade de pesquisas complementares.

A principal contribuição desta pesquisa é a apresentação dos conceitos e ferramentas disponibilizadas pelos SGBDE sob a ótica dos usuários dos SIG, evidenciando aspectos da tecnologia disponível e a necessidade de pesquisas a serem realizadas na área.

2. A TECNOLOGIA DE BANCOS DE DADOS PARA SUPORTAR OS SIG

A tecnologia de bancos de dados é uma das áreas da Ciência da Computação que mais se desenvolveu nas últimas décadas e é amplamente utilizada nos sistemas de informações com os quais nos inter-relacionamos diariamente.

A grande maioria das pesquisas científicas para solucionar as questões de armazenamento e gerenciamento de dados convencionais já foram realizadas e implementadas em produtos comerciais de mercado.

A estruturação dos dados evoluiu a partir da concepção de modelos que possibilitam a abstração da realidade, descrevendo os dados e as regras de restrições a que estes estão submetidos. Os modelos de dados podem ser hierárquico, relacional, entidade-relacionamento e orientado à objetos.

O modelo hierárquico foi o modelo mais utilizado até meados dos anos 80 e caracteriza-se por uma coleção de registros conectados por meio de ligações, onde cada registro é uma coleção de campos, cada campo contém somente um valor e cada ligação liga exatamente dois registros. Sendo ainda considerado o SGBD de melhor performance.

O modelo relacional foi o primeiro modelo matemático implementado a utilizar os conceitos da álgebra relacional nas consultas, através da utilização de operadores unários (para a projeção e seleção) e operadores binários (para as relações de união, diferença e produto cartesiano).

Os dados são armazenados em relações (tabelas), onde cada linha é um elemento deste conjunto. Uma tabela possui uma série de campos denominados de atributos, que são atômicos, monovalorados e em geral numérico ou alfanumérico. Os dados são definidos e manipulados através da linguagem baseada em álgebra relacional Structured Query Language – SQL, que é atualmente o padrão de comunicação entre os SGBDs.

O modelo entidade-relacionamento tem como idéia fundamental conservar como base os conceitos genéricos (objetos, associação e propriedade) utilizados no

processo de abstração. Trabalha com os conceitos básicos de entidade (representa os objetos), associação (representa a ligação entre os objetos) e atributo (propriedade dos objetos) [1].

Todos estes modelos citados têm como premissa básica a uniformidade dos registros que basicamente são itens atômicos, pequenos, fixos e com representações planas.

As novas aplicações de sistemas de informações como Multimídia, SIGs, *Cases* e CADD motivaram as pesquisas para o armazenamento de dados não convencionais em SGBDs, dando origem aos bancos de dados orientado a objetos.

As principais propriedades destes bancos de dados são a manipulação de objetos (atributos) complexos e a modelagem do comportamento destes objetos. Caracteriza-se por um descritor único, que encapsula os objetos, denominados de classe e suas propriedades, compostas de atributos e métodos.

Atualmente o grande desafio na área dos bancos de dados é justamente a transição da tecnologia relacional para a abordagem pós-relacional. Esta nova abordagem tem como requisitos fundamentais:

- a) o suporte a um modelo orientado a objetos;
- b) uma arquitetura que possa facilmente acomodar várias extensões
- c) o suporte ao gerenciamento de dados temporais, dados espaciais, dados de multimídia, transações de longa duração e dados imprecisos, entre outros.

Uma das soluções mais atuais implementadas para a solução destes desafios é a utilização de um novo conceito: a abordagem objeto-relacional, que é a base da apresentação deste trabalho.

3. DADOS GEOGRÁFICOS

Os objetos do mundo real possuem características consideradas essenciais para o seu comportamento que são incorporadas aos sistemas de informações a partir de um processo de abstração da realidade.

Estas características englobam conjuntos de aspectos espaciais (geométricos) que possibilitam a perfeita definição do objeto e não espaciais (descritivos) que representam os aspectos cadastrais do objeto.

As informações espaciais podem ser representadas de várias maneiras diferentes e estas construções geométricas podem ser representadas em um banco de dados de forma normalizada.

Os construtores espaciais mais utilizados são compostos de pontos, linhas, áreas, superfícies, volumes e até mesmo dados de dimensões maiores, que incluem o tempo.

Os dados geográficos utilizados nos SIG, são espaciais por natureza e representam uma particularidade do universo dos dados espaciais sendo hoje os fortes responsáveis pelo impulso para as pesquisas da área. Podem ser categorizados

em dois tipos, apresentados a seguir.

3.1. DADOS VETORIAIS

A representação vetorial é um dos modelos primários de representação de dados geográficos e a maioria das feições dos mapas com os quais interagimos são representados sob a forma de vetores.

Os dados vetoriais são construídos a partir de objetos geométricos básicos, como pontos, segmentos de linhas, triângulos e polígonos bidimensionais e poliedros em três dimensões.

Um segmento de linha pode ser representado pelas coordenadas de seus vértices, um ponto por suas coordenadas bidimensionais e assim por diante.

Estes dados normalmente são resultantes de medidas diretas executadas nas feições geográficas, cujo objetivo principal é a representação e a localização das feições naturais e artificiais de porções da superfície terrestre.

Desta forma os rios e estradas podem ser representados como a união de múltiplos segmentos de linha, os estados e países podem ser representados como polígonos e assim por diante.

3.1.1. Pontos

É a forma mais simples de representação dos objetos geográficos e são representados por um par ordenado (x, y) de coordenadas espaciais que permite a sua localização. Eventualmente podem ter associados os atributos da coordenada Z (cotas ou altitudes) ou m (medidas lineares).

São utilizados para armazenar pequenas feições que não possuem dimensões significativas, de acordo com a escala em uso, bem como pontos de levantamentos. Postes elétricos, hidrantes, pontos de ônibus, edificações são exemplos da representação pontual.

3.1.2. Linhas

A linha é uma coleção ordenada de segmentos que podem estar unidos ou conectados. Podemos representar uma curva particionando-a em uma sequência de segmentos.

Essa representação é útil para elementos bidimensionais, quando a largura é muito inferior ao comprimento da feição completa e os segmentos que as compõem só se tocam nos vértices.

A representação em um espaço tridimensional é similar a representação no espaço bidimensional, com uma única diferença: a inserção da componente z .

Linhas são utilizadas para a representação de estradas, muros, cercas, rodovias, ferrovias dentre outros e também são utilizadas juntamente com os pontos, para representar estruturas de redes.

3.1.3. Polígonos

Um polígono é a região do plano limitada por uma poligonal. Pode-se representar um polígono listando os seus vértices em determinada ordem e se consideramos os polígonos fechados, o primeiro vértice da lista é também o último vértice.

São utilizados para representar objetos individualizáveis do mundo real e os limites das entidades definidos originalmente pelos próprios fenômenos, cuja área seja relevante para a aplicação.

Elementos geográficos como estados, grandes lagos, edificações são representados por polígonos, que podem ser simples ou complexos.

3.2. DADOS MATRICIAIS -RASTER

Estes dados consistem em mapas de bits ou de pixels em duas ou mais dimensões. Os dados matriciais são obtidos através da captura indireta da informação espacial e são armazenadas como matrizes. Cada elemento da imagem, denominado de *pixel*, possui duas dimensões e na maioria das vezes tem associado dados qualitativos da superfície terrestre. O tempo agregaria uma nova dimensão a esses dados.

Pela natureza do processo de aquisição das imagens, as feições geográficas que estão contidos em imagens necessitam ser individualizados e tratados através técnicas de foto-interpretação e classificação automática.

Os dados *raster* são originários de sistemas de imageamento – imagens de satélite, aerofotogrametria, mapas *scaneados*, fotografias convencionais ou são obtidos através da conversão de dados vetoriais para serem utilizados em aplicações específicas.

Operações matemáticas (+, -, /, *, Log, Exp, Sin, Cós e Sqrt) e aplicações de operadores booleanos e lógicos (And, Or, Xor, Not, >, <, etc), possibilitam análises geográficas avançadas com estes dados.

A precisão cartográfica, comparativamente é inferior a dos dados vetoriais, primeiramente por que são obtidos através de métodos indiretos e necessitam ser georeferenciados para serem utilizados em aplicações espaciais.

Outro fator que degenera a precisão é que os *rasters* são compostos de células e cada célula é uma unidade uniforme que representa uma área definida da Terra, dependendo da resolução requerida, ao contrário da captura dos dados vetoriais que são coletados pontualmente.

Em contrapartida, o potencial de utilização dos dados *raster* é muito grande, tendo em vista a oferta de produtos comerciais provenientes das várias famílias de satélites que imageam a Terra periodicamente - Landsat, Spot e Ikonos entre outras e o custo do dado que é consideravelmente inferior.

3.3 CARACTERÍSTICAS ESPECÍFICAS DOS DADOS GEOGRÁFICOS

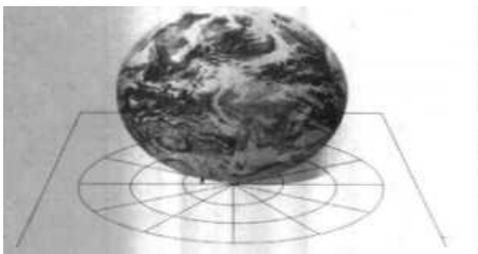
Além da estrutura geométrica, os dados geográficos possuem características específicas que devem ser consideradas no ambiente de bancos de dados:

3.3.1. Sistemas de Projeções Cartográficas

A representação planar da Terra é obtida através da utilização de sistemas de projeções cartográficas, que possibilitam a transformação dos elementos geográficos coletados em uma superfície elipsoidal para a superfície plana, conforme apresentado na Fig 1.

Existem inúmeros sistemas de projeções definidos que devem ser utilizados criteriosamente a partir das necessidades específicas dos usuários tais como região geográfica, escala de representação e aplicações específicas.

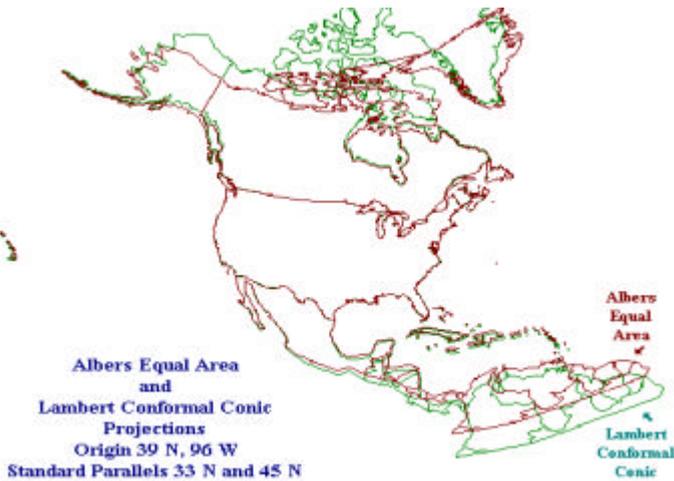
FIGURA 1- REPRESENTAÇÃO DA FIGURA GEOMÉTRICA DA TERRA NO PLANO



Os dados geográficos, originalmente coletados em diferentes sistemas de projeção, necessitam ser armazenados em bancos de dados espaciais. Estes dados possuem as mesmas estruturas geométricas e descritivas, porém muitas vezes são projetados originalmente com diferentes referências espaciais, conforme apresenta a figura 2.

Em conseqüência, suas posições no espaço podem divergir e os sistemas de informações devem prover as operações matemáticas necessárias para o tratamento destas questões e a integração dos resultados em um único sistema de projeção através da conversão dos dados.

FIGURA 2 – REPRESENTAÇÃO DO TERRITÓRIO DOS EUA NAS PROJEÇÕES DE ALBERS E DE LAMBERT



3.3.2. Multiplicidade de Escalas

Escala é definida como a relação entre as dimensões dos elementos medidos sobre a superfície da Terra e a grandeza correspondente, representada em um mapa.

Em um mesmo banco de dados devem conviver representações geográficas em diferentes escalas de precisão. Estes dados são provenientes de levantamentos executados com diferentes níveis de precisão, considerando os métodos e técnicas empregados.

As informações descritivas do objeto são constantes e as diferentes representações geométricas devem ser armazenadas, compondo produtos de diferentes escalas que se destinam a aplicações específicas.

Tomando como exemplo uma edificação: em se tratando de escalas urbanas, 1:100 a 1:10.000, cada edificação será representada por um polígono e terá associada dados cadastrais, como atividade, proprietário, material de construção, etc. Esta mesma edificação, em um escala 1:50.000 ou menor, terá os mesmos dados cadastrais, porém a representação geométrica será um ponto. Ambas as representações geométricas deverão estar armazenadas.

3.3.3. Representações temporais

Uma mesma feição geográfica pode ter diferentes representações geométricas que correspondem a variações temporais do objeto. Da mesma forma que as anteriores estas representações devem ser armazenadas para possibilitar estudos de acompanhamento e monitoramento dos fenômenos.

4. SISTEMAS GERENCIADORES DE BANCOS DE DADOS ESPACIAIS

4.1. EVOLUÇÃO DOS SGBDE

A questão de como integrar os dados espaciais e os não espaciais foi o assunto chave para a construção de SGBDE ao longo das últimas décadas. Pesquisas foram realizadas através da concepção de várias arquiteturas e da construção de protótipos.

Os SIG foram desenvolvidos armazenando os dados espaciais em estruturas proprietárias que somente os desenvolvedores dominavam.

Esforços de pesquisas na área, com a construção de protótipos em diferentes arquiteturas, resultaram em uma arquitetura integrada.

Entre os protótipos desenvolvidos inclui-se, entre outros, Postgres [30], Predador e Paraíso [9], Geo-Kernel e Gral [26] e SAND [26].

4.1.1. Sistemas dedicados

Muitos protótipos de sistemas foram propostos para suportarem exclusivamente objetos espaciais. A deficiência principal destes sistemas foi que seu desenvolvimento deu-se sem o completo conhecimento de questões inerentes a tecnologia de banco de dados [10].

São exemplos desta arquitetura os sistemas dedicados, com o propósito de apoiar aplicações em um domínio específico, como os bancos de dados de CAD.

Uma outra característica marcante destes sistemas é que eles não são facilmente extensíveis, de modo que é difícil modifica-los para executar ações não concebidas pelos seus projetistas.

O principal efeito destas deficiências citadas é a redução na eficiência da capacidade de processamento do sistema. Uma solução alternativa para os sistemas dedicados seria a construção de uma ferramenta genérica de banco de dados que suporte uma grande variedade de aplicações sem uma completa compreensão das suas exigências.

4.1.2. Arquiteturas duais

Arquiteturas duais são baseadas na distinção entre dados espaciais e dados não espaciais, utilizando diferentes modelos de dados. A comunicação entre estes sistemas é executada através dos identificadores comuns.

As deficiências desta arquitetura são as questões-chaves dos bancos de dados tradicionais como concorrência, integridade e bloqueio já que uma arquitetura dual implica na existência de dois gerenciadores de armazenamento.

Este fato pode ser contornado armazenando-se dados espaciais em um modelo de dados puramente relacional, ou seja, transformando os dados espaciais ou decompondo-os em suas partes constituintes. Este enfoque implica em uma hierarquia e é a base da arquitetura de camadas - *Layers*.

Neste caso, temos um SIG na camada superior, seguido por uma camada de

suporte espacial e posteriormente um SGBDR na camada inferior, sendo que a ordem relativa de alguns dos elementos na hierarquia pode ser mudada. São exemplos desta arquitetura o SIRO-DBMS [13] e GEOView [14].

4.1.3. Arquitetura integrada

A arquitetura integrada é a mais comum e a mais indicada. Nesta concepção, o SGBD é estendido com seus próprios tipos abstratos de dados, para suportar as aplicações espaciais provendo um SGBD generalizado que facilita o apoio a aplicações não convencionais, como os bancos de dados espaciais.

Estes sistemas adicionam novas construções para oferecer adicional poder de modelagem e incluem suporte a tipos de dados abstratos, campos procedurais e objetos complexos entre outros.

Os usuários de arquiteturas integradas são motivados, em parte, pela convicção que cada tipo de dados deve ser representado por uma estrutura de dados apropriada que atenda suas necessidades operacionais.

Esta arquitetura foi viabilizada, primeiramente, estendendo-se o modelo o relacional e atualmente as extensões são similares às estruturas de camadas.

4.2. CARACTERÍSTICAS DOS SGBDE

Os SGBDE são os sistemas que possibilitam o armazenamento e o processamento eficiente das informações espaciais e não espaciais de maneira adequada, sem favorecer uma em detrimento da outra [20].

Por analogia aos dados não espaciais, o caminho natural para tratar com dados espaciais seria armazená-los explicitamente através da parametrização e assim obter a redução para um ponto em um espaço de dimensão mais alta.

Este procedimento é simples de ser implementado em um SGBD convencional, já que o sistema é exatamente um conjunto de registros, onde cada registro possui muitos campos. Assim, adiciona-se um, ou vários campos no registro que trata do item desejado da informação espacial.

Esta abordagem é aceitável para executar uma simples recuperação de dados. Porém, se a questão envolve o espaço ocupado pelos dados e conseqüentemente outros registros, em virtude da interação entre os objetos, esta situação não é tão direta e nestes casos, necessita-se recuperar registros baseados em propriedades espaciais que não são armazenadas explicitamente no banco de dados.

Para responder as consultas espaciais, os bancos de dados devem possibilitar a ordenação dos dados, de maneira a recuperá-los agilmente. Todos os sistemas de gerenciamento de banco de dados ordenam os dados e a questão básica é definir a partir de quais chaves eles serão ordenados.

No caso de dados espaciais, o ordenamento deve estar baseado em chaves espaciais, significando que diferentemente dos sistemas de gerenciamento de banco de dados convencionais, o ordenamento está baseado no espaço ocupado pelos

dados.

As técnicas que possibilitam este ordenamento são conhecidas como métodos de índices espaciais pois não se pode utilizar as estruturas de índices tradicionais para responder eficientemente a este tipo de consulta.

A partir destas questões levantadas – características dos dados espaciais, operações espaciais e índices espaciais, este trabalho apresenta métodos e técnicas descritos na literatura e algumas soluções disponibilizadas, restringindo-os ao escopo dos dados geográficos que é o foco dos SIG.

A organização dos arquivos e índices espaciais será abordada de maneira genérica neste capítulo, enquanto as operações espaciais serão restritas à abordagem objeto-relacional apresentada no capítulo seguinte

4.2.1 Organização de arquivos e índices espaciais

O projeto físico de um banco de dados é essencial para otimizar as instruções para que os dispositivos de armazenamento executem as operações nos arquivos de dados.

A organização física destes arquivos muitas vezes pode ser complementada com a utilização de índices, que são estruturas de dados utilizadas para melhorar o desempenho das operações de busca.

As estruturas tradicionais para o projeto físico utilizam as técnicas de *clustering* e de *hashing* que se mostram inadequadas já que tratam de dados unidimensionais, enquanto dados espaciais normalmente são multidimensionais [2].

A organização física de arquivos pode ser complementada com índices, que são estruturas de dados utilizadas para melhorar o desempenho das operações de busca. Um grande número de índices espaciais [23] têm sido estudados para o espaço Euclidiano multidimensional. Índices representativos para os objetos *ponto* incluem arquivos *Grid*, arquivos *Grid* multidimensionais [18], *Point-Quad-Trees* e *Kd-trees*.

Índices representativos para objetos estendidos incluem a família *R-tree*, *Field tree*, *Cell tree* e arquivos *grid Balanced* e *Nested*.

Os índices uni-dimensionais clássicos como o *B+ tree* têm sido utilizados para dados espaciais através da linearização de um espaço multidimensional utilizando uma curva *space-filling* como a *Z-ordem*.

Um dos primeiros métodos de acesso criados para manipular objetos estendidos foi a estrutura *R-tree* de Guttman [12], que é uma extensão natural da *B+ tree* para dimensões maiores.

As *R-tree* e suas variantes são projetadas para organizar uma coleção de objetos espaciais arbitrários, representando-os como retângulos *d*-dimensionais. Cada nó na árvore corresponde ao retângulo de menor dimensão *d* e inclui seus filhos. Os nós finais contêm ponteiros para os atuais objetos no banco de dados ao em vez de apontar para nós filhos. Os objetos são representados pelo menor retângulo que os limitam.

Freqüentemente os nós correspondem a páginas de disco e, assim, os parâmetros que definem a árvore são escolhidos de forma que um número pequeno de nós é visitado durante uma consulta espacial, com a possibilidade dos retângulos, correspondentes aos nós, se sobrepossem.

Um objeto pode estar espacialmente contido em vários nós, ainda que associado somente a um único nó, o que significa que uma consulta espacial pode requerer que vários nós sejam visitados antes de averiguar-se a presença ou ausência de um objeto particular[15].

As regras básicas para a formação de uma *R-tree* são similares às utilizadas em uma *B-tree*. Todos os nós finais aparecem no mesmo nível e cada entrada em um nó final é uma 2-tupla da forma (R, O) tal que R é o menor retângulo que espacialmente contém o objeto O . Cada entrada em um nó intermediário é uma 2-tupla da forma (R, P) tal que R é o menor retângulo que espacialmente contém os retângulos nos nós filhos apontados para P .

Uma *R-tree* de ordem (m, M) significa que cada nó na árvore, com exceção da raiz, contém entre $m \leq [M/2]$ e M entradas. O nó raiz tem ao menos duas entradas, a não ser que seja um nó final.

A desvantagem destes métodos é que eles não resultam em uma decomposição desmembrada do espaço e desta forma um objeto é somente associado a um retângulo e na pior hipótese, significa que quando se deseja determinar qual objeto é associado com um ponto particular no espaço bi-dimensional no qual os objetos são representados, pode-se ter que buscar em todo o banco de dados.

Outras abordagens estão baseadas na decomposição do espaço em células separadas e mapeadas em áreas de memória. A propriedade comum é que os objetos são decompostos em sub-objetos separados, tal que cada um esteja associado a uma célula diferente.

Estes métodos diferem do grau de regularidade imposto pelas regras de decomposição subjacentes e pelo modo no qual as células são agregadas. A desvantagem é que para determinar-se a área coberta por um objeto particular, tem-se que recuperar todas as células ocupadas e este procedimento se repete também quando se deseja remover um objeto.

Uma outra desvantagem relacionada é que quando se deseja determinar todos os objetos que ocorrem em uma região particular, freqüentemente se recupera mais de uma vez muitos dos objetos do banco de dados. Este fato é particularmente problemático quando o resultado da operação serve como entrada para outra operação, através da composição de funções [20].

O primeiro método baseado no desmembramento divide os objetos em sub-objetos arbitrários separados e então os agrupa em outra estrutura como uma *B-tree*.

A partição e os agrupamentos subsequentes são tais que os retângulos são separados em cada nível da estrutura. A *R+-tree* [19] e a *cell tree* [20] são exemplos desta abordagem e diferem pelo tipo de dados com que lidam. A *R+-tree* trata com

coleções de objetos que são limitados através de retângulos, enquanto a *cell tree* trata com poliedros convexos.

A *R+-tree* é uma extensão da *k-d-B-tree* [24] e seu desenvolvimento foi motivado pela necessidade de evitar-se a sobreposição entre os retângulos. Cada objeto é associado a todos os retângulos que o interceptam e nenhum dos retângulos na árvore (com a exceção dos nós finais) se sobrepõe. O resultado é que podem existir vários caminhos para o mesmo objeto, iniciando na raiz, fato que pode conduzir a um aumento na altura da árvore. Porém, em contrapartida, o tempo de recuperação é acelerado.

A Figura 3a ilustra objetos espaciais organizados em uma *R-tree*, enquanto que a Figura 3b apresenta a estrutura de arquivo onde os nós correspondem a páginas de disco.

Métodos como a *R+-tree* e a *cell tree* (como também a *R*-tree* [28]) tem como desvantagem que a decomposição é dependente dos dados. Isto significa que é difícil executar tarefas que necessitem a composição de diferentes operações e conjuntos de dados.

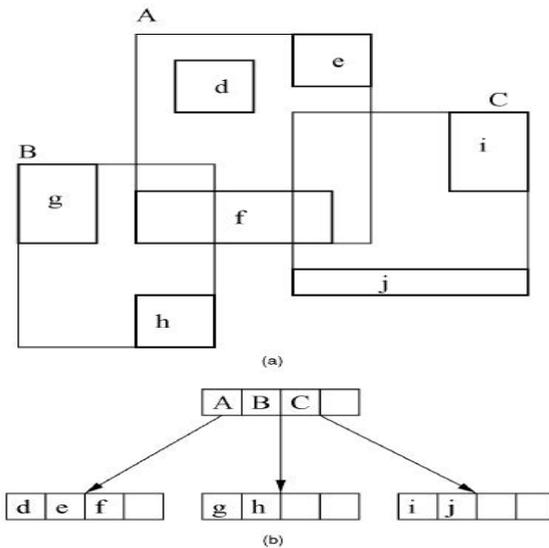
Em contraste, os dois métodos remanescentes, como também atendem a uma decomposição separada tem um maior grau de independência dos dados. Eles são baseados em uma decomposição regular, com o espaço sendo decomposto em blocos de tamanho uniforme (por exemplo, o *grid* uniforme) ou adaptando-se a decomposição à distribuição dos dados. No primeiro caso, todos os blocos são do mesmo tamanho e no segundo, as larguras dos blocos são restringidas para serem potências de dois e suas posições também são restringidas.

O *grid* uniforme é ideal para dados uniformemente distribuídos, enquanto que abordagens baseadas em *quadtree* são apropriadas para dados arbitrariamente distribuídos.

No caso de dados uniformemente distribuídos, abordagens *quadtree* degeneram-se para um *grid* uniforme, embora com um *overhead* mais alto. Ambos, o *grid* uniforme e as abordagens *quadtree* são ideais para tarefas que requerem a composição de diferentes operações e conjunto de dados [20]. Em geral, desde que dados espaciais não são normalmente uniformemente distribuídos, a abordagem de decomposição regular *quadtree* é mais flexível.

A desvantagem de métodos de *quadtree* é a sensibilidade para o posicionamento, no sentido que a localização dos objetos, relativa as linhas de decomposição do espaço no qual eles estão referenciados, afeta o custo do armazenamento e a quantidade de decomposição.

FIGURA 3 – (A) OBJETOS ESPACIAIS – NEGRITO – ARRANJADOS NA HIERARQUIA R-TREE
(B) ESTRUTURA DO ARQUIVO R-TREE NO DISCO



FONTE:[20]

Este fato é superado para uma grande extensão, utilizando-se uma adaptação de *bucketing* que só decompõe um bloco se este contém mais que n objetos.

Muitas variações da estrutura de *R-tree* existem, cuja principal ênfase é descobrir novas estratégias para manter o equilíbrio da árvore no caso de uma divisão e minimizar a sobreposição do MBRs para melhorar o tempo de busca.

Controles de concorrência para métodos de acesso espacial [16] são providos pela árvore de *R-link*, que é uma variante da *R-tree* com ponteiros irmãos adicionais que permitem rastrear as modificações.

Os SGBDEs de mercado utilizam diferentes técnicas de índice espaciais que podem ocasionar diferenças significativas no desempenho destes sistemas, cabendo a cada usuário a busca pelas soluções apropriadas a sua finalidade.

5. BANCOS DE DADOS ESPACIAIS - ABORDAGEM OBJETO-RELACIONAL

O papel do componente do banco de dados espaciais é dependente do tipo de sistema de gerenciamento do banco de dados envolvido, ou seja, relacional, orientado a objeto ou objeto-relacional.

Neste trabalho, será enfocada a discussão dos bancos de dados espaciais focados no contexto objeto-relacional [6], [32], [31] que provêm extensões para muitos componentes dos bancos de dados tradicionais tornando-os aptos a suportar novos

domínios de aplicação, em uma arquitetura integrada.

Os bancos de dados objeto-relacional permitem a inclusão de tipos de dados espaciais, operações espaciais e sistemas de indexação multidimensionais. Por estes motivos, os bancos de dados espaciais tem sido a aplicação mais comum de bancos de dados objeto-relacional e influenciaram grandemente seu desenvolvimento.

Esta arquitetura de três camadas é mostrada na Fig. 4 e consiste de um sistema gerenciador de banco de dados objeto-relacional, um banco de dados espacial e uma aplicação espacial como um SIG ou MMIS.

FIGURA 4 – ARQUITETURA DE TRES CAMADAS

FONTE: []

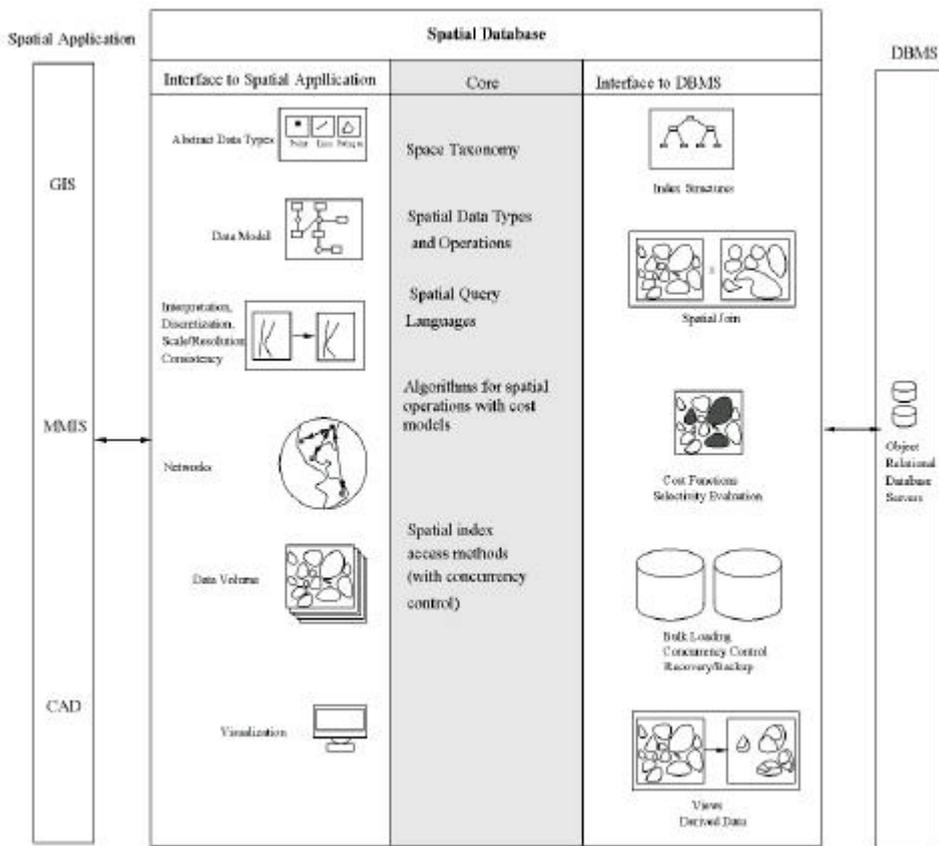


Fig. 1. Three-layer architecture.

A interface entre a aplicação e o sistema de dados espaciais mapeia aplicações específicas construídas para o banco de dados espaciais.

Os modelos de dados objeto-relacional estendem o modelo de dados relacional fornecendo um tipo de sistema mais rico, incluindo orientação a objeto e acrescentando estruturas a linguagens de consulta relacionais, como a SQL, para tratar os tipos de dados acrescentados [37].

O banco de dados espacial associa às exigências da aplicação as funcionalidades providas pelo SGBD. A interface para o SGBD suporta o processamento de consultas especializadas, as quais suportam as necessidades do núcleo do banco de dados com aceitável desempenho.

Tendências emergentes como interfaces World Wide Web, dados de multimídia e processamento de imagens estão forçando o compartilhamento de dados e as pesquisas necessárias de bancos de dados espaciais.

5.1. MODELO DE DADOS ESPACIAIS E LINGUAGEM DE CONSULTAS

Um modelo de dados espaciais [25], [35] é um tipo de abstração que encobre os detalhes de armazenamento dos dados. Existem dois modelos comuns de informação espacial: o modelo baseado em campos e o modelo baseado em objetos.

O modelo baseado em campos trata informações espaciais como altitude, pluviometria e temperatura – dados *raster*, como uma coleção de funções espaciais transformando uma parte do espaço para o domínio de um atributo. As operações baseadas em campos incluem operações locais, focais e zonais. Estes campos podem ser contínuos, diferenciáveis, discretos e isotrópicos ou anisotrópicos, com autocorrelação positiva ou negativa.

O modelo baseado em objetos trata a informação espacial como se fosse populada por entidades discretas, identificáveis e referenciadas espacialmente – dados vetoriais. As operações com objetos espaciais incluem distâncias e limites.

A implementação de um modelo de dados espacial, no contexto de bancos de dados objeto-relacional, consiste em um conjunto de dados espaciais e de operações com esses dados.

Muitos trabalhos tem sido desenvolvidos, durante a última década, no projeto de *Abstract Data Types* (ADTs) espaciais e na sua inclusão em linguagens de consultas. Os consensos estão emergindo lentamente via esforços de padronização e recentemente o consórcio OGIS [21] propôs uma especificação para incorporar ADTs espaciais bi-dimensionais em SQL, conforme apresentamos neste trabalho. Desta forma, utilizando as especificações do OGIS, consultas espaciais comuns podem ser intuitivamente propostas em SQL.

A especificação OGIS é limitada a operações topológicas e métricas em dados vetoriais. As outras classes de interesse são as operações com redes, direção, segmentação dinâmica e as operações de baseadas em campo - focal, local e zonal, ainda não são contempladas nessas especificações.

Enquanto padrões para dados tipo *raster* ainda estão ainda emergindo, Map Algebra [33] especificamente projetado para modelagem cartográfica e RaSQL, baseada em Image Álgebra [3], para objetos discretos multidimensionais são considerados importantes marcos.

5.2. STRUCTURED QUERY LANGUAGE/MULTIMEDIA – SPATIAL

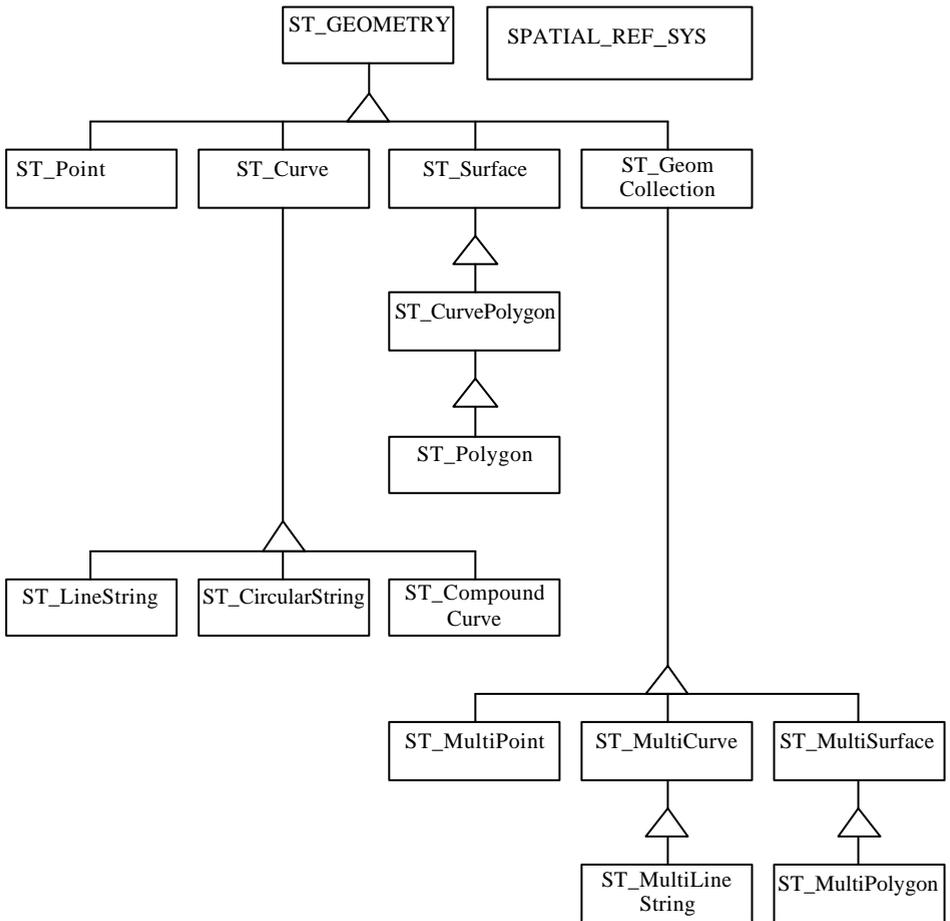
5.2.1. Tipos de geometrias

A linguagem SQL/MM – Spatial suporta os seguintes tipos de geometrias, hierarquizados conforme o diagrama ilustrado na Figura 5:

TIPOS DE GEOMETRIA	
ST_Geometry	Tipo raiz de todos os tipos de geometria, seus sub-tipos instanciáveis são de dimensão 0, 1 ou 2 e existem em um espaço de coordenadas bi-dimensional (R^2).
ST_Point	Estrutura geométrica de dimensão 0 que representa uma localização simples em coordenadas espaciais bi-dimensionais (R^2). Possui valores de coordenadas x e y e seu limite é um conjunto vazio.
ST_Curve	Geometria de uma dimensão geralmente armazenada como uma sequência de pontos.
ST_LineString	Cada par consecutivo de valores ST_Point define um segmento de linha. Uma linha é um valor de ST_LineString com exatamente dois pontos.
ST_CircularString	Tipo de ST_Curve que consiste de um ou mais segmentos de arcos circulares conectados final a final.
ST_CompoundCurve	Curva composta de uma sequência de curvas contíguas de tal maneira que curvas adjacentes sejam ligadas pelos seus pontos finais. O ponto final de cada curva deve ser igual ao ponto inicial da próxima curva na lista.
ST_Surface	Geometria bidimensional definida como uma superfície simples consistindo de um arranjo simples, cujo limite é especificado por um anel externo e zero ou mais anéis internos.
ST_CurvePolygon	Superfície plana, definida por um limite exterior e zero ou mais limites internos. O limite de um ST_CurvePolygon consiste de um anel exterior e zero anéis internos.
ST_GeomCollection	Coleção de zero ou mais valores ST_Geometry, com todos os elementos no mesmo sistema de referência espacial, sendo este valor também o sistema de referência espacial para o valor ST_GeomCollection.

ST_MultiPoint	Coleção de estruturas geométricas com dimensão 0 com os valores de ST_Point não conectados ou ordenados e seu limite é um conjunto vazio.
ST_MultiCurve	Coleção de estruturas geométricas com uma dimensão que pode ser instanciável.
ST_MultiLineString	Coleção de elementos restritos aos valores de ST_LineString.
ST_MultiSurface	Coleção de estruturas geométricas bidimensionais, que pode ser instanciável.
ST_MultiPolygon	Subtipo de ST_MultiSurface cujo limite é uma relação de anéis lineares correspondendo aos limites dos elementos do ST_Polygon e seus valores são simples.

FIGURA 5 – DIAGRAMA DA HIERARQUIA DO TIPO ST_GEOMETRY



fonte:[37]

5.1.2. Relações Espaciais

As relações espaciais são os métodos utilizados para testar a existência de um relacionamento espacial, especificado topologicamente, entre dois valores ST_Geometry.

A abordagem básica para comparar dois valores de ST_Geometry é realizar testes par-a-par para determinar as interseções entre os limites, os interiores e os exteriores de dois valores de ST_Geometry e classificar a relação entre os dois valores baseados na matriz resultante.

O conjunto de interações entre duas geometrias é representado por uma matriz, que especifica quais são os pares de componentes que se interceptam e quais não se interceptam, como especificada na Tabela 1 – DE-9IM.

TABELA 1 – DE-9IM

	Interior	Limite	Exterior
Interior	$(\text{Interior}(a) \cap \text{Interior}(b))$ <i>ST_Dimension</i>	$(\text{Interior}(a) \cap \text{Limite}(b))$ <i>ST_Dimension</i>	$(\text{Interior}(a) \cap \text{Exterior}(b))$ <i>ST_Dimension</i>
Limite	$(\text{Limite}(a) \cap \text{Interior}(b))$ <i>ST_Dimension</i>	$(\text{Limite}(a) \cap \text{Limite}(b))$ <i>ST_Dimension</i>	$(\text{Limite}(a) \cap \text{Exterior}(b))$ <i>ST_Dimension</i>
Exterior	$(\text{Exterior}(a) \cap \text{Interior}(b))$ <i>ST_Dimension</i>	$(\text{Exterior}(a) \cap \text{Limite}(b))$ <i>ST_Dimension</i>	$(\text{Exterior}(a) \cap \text{Exterior}(b))$ <i>ST_Dimension</i>

fonte:[37]

5.1.3. Operações Espaciais

Para efetuar-se as operações espaciais são definidos os seguintes métodos espaciais utilizando ST_Geometry:

ST_Equals	testa se um valor ST_Geometry é espacialmente igual a outro valor ST_Geometry.
ST_Relate	testa se um valor ST_Geometry é espacialmente relacionado a outro valor ST_Geometry, testando as interseções dos cruzamentos dos interiores, limites e exteriores de dois valores ST_Geometry, como especificado pela matriz interseção.
ST_Disjoint	testa se um valor ST_Geometry é espacialmente desconexo de

	outro valor ST_Geometry.
ST_Intersects	testa se um valor ST_Geometry cruza espacialmente outro valor ST_Geometry;
ST_Touches	testa se um valor ST_Geometry tem contato espacial com outro valor ST_Geometry.
ST_Crosses	testa se um valor ST_Geometry cruza espacialmente outro valor ST_Geometry.
ST_Within	testa se um valor ST_Geometry está espacialmente contido em outro valor ST_Geometry.
ST_Contains	testa se um valor ST_Geometry espacialmente contém outro valor ST_Geometry.
ST_Overlaps	testa se um valor ST_Geometry espacialmente sobrepõe/coincide com outro valor ST_Geometry.

Com o objetivo de ilustrar a utilização das linguagens de consultas, foi considerada a seguinte operação: um usuário necessita obter os municípios adjacentes ao município de Curitiba com os respectivos atributos.

A consulta ao banco de dados é executada através do método ST_Touches que testa todos os valores de ST_Geometry que teriam contato com o valor ST_Geometry que representa o município de Curitiba.

O resultado desta operação é um valor variando de -1 a $+1$, que indica se é verdadeira ou falsa, esta declaração. O(s) valor(es) de ST_Geometry que apresentar(em) o resultados $+1$, representam os polígonos limítrofes ao município de Curitiba.

No quadro abaixo estão ilustrados adicionalmente as declarações utilizadas no software ArcSDE [34] e no SGBDE Oracle-Spatial [36] que se baseiam no padrão SQL/MM-Spatial.

QUADRO 1

Conceito	Geometria	Consulta Espacial	Operador
ArcSDE	Area	Touching	BOOL SE_shape_is_touching((const SE_SHAPE primary_shape, const SE_SHAPE secondary_shape) Retorno: 'TRUE' se as duas <i>shapes</i> fornecidas tem limites comuns
Oracle Spatial	Polygon	Touch	SDO_RELATE(geometry1 MDSYS.SDO_GEOMETRY, geometry2 MDSYS.SDO_GEOMETRY, params VARCHAR2)

			Retorno: 'TRUE' indica que o par de objetos avaliados tem a relação topológica TOUCH.
SQL/MM - Spatial	Surface/ Polygon	Touches	ST_Touches (ageometry ST_Geometry) Retorno: '1' se o valor ST_geometry (SELF) toca espacialmente outro valor ST_Geometry

5.2 PROCESSAMENTO DE CONSULTAS ESPACIAIS

O processamento eficiente de consultas espaciais requer a representação adequada dos dados e a utilização de poderosos algoritmos de cálculo.

A representação dos dados espaciais mais comum é através de modelos baseado em objetos, que incluem os modelos *spaghetti*, nó-arco-polígono (NAA), *doubly connected edge-list* (DCEL) e as representações de limites [17]. O modelo de NAA distingue o conceito topológico (nós, arcos e áreas) do conceito do espaço de referência (pontos, linhas, áreas). O *spaghetti* e o DCEL enfocam os conceitos topológicos.

A representação dos dados, no modelo de campos, inclui mosaicos regulares - triangular, quadrado, hexagonal, *grid* e redes triangulares irregulares (TIN).

As consultas espaciais [7] são processadas, utilizando-se filtros e técnicas refinadas. Os filtros utilizam aproximações de geometria, como o mínimo retângulo ortogonal de um objeto espacial, para em uma primeira instância, filtrar rapidamente os objetos irrelevantes. Após esta filtragem inicial, a geometria exata é então utilizada para comparar-se aos objetos espaciais restantes, completando assim o processo de recuperação de dados.

Estratégias para *range-queries* incluem uma varredura e um índice de busca em conjunção com o algoritmo *plane-sweep* [5]. As estratégias para junções espaciais incluem *nested loop*, *tree matching* [5] quando os índices espaciais estão presentes em todas as relações participantes. Na ausência de índices, utiliza-se o fracionamento do espaço [22].

Para acelerar o processamento de consultas para grandes objetos espaciais (é comum para polígonos ter 1.000 ou mais vértices), utiliza-se para a filtragem índices objeto.

Várias das estratégias originadas em bancos de dados espaciais como a aproximação de objetos e construção de árvores, estão sendo aplicadas em outros domínios com características similares.

6. CONCLUSÕES

Os SGBDE atualmente são uma ferramenta extremamente poderosa na área de tecnologia para os SIG. O desenvolvimento destes sistemas gerenciadores possibilitou o armazenamento e gerenciamento de grandes volumes de dados

espaciais e não espaciais um só ambiente e a sua disponibilização para diferentes grupos de usuários.

O avanço da tecnologia dos SGBDE também está iniciando uma nova era para os SIG. As operações espaciais que até então são efetuadas através de softwares específicos foram incorporadas aos SGDE, delineando uma forte mudança na concepção dos softwares atualmente utilizados. Estes softwares tenderão a tornar-se cada vez mais enxutos, com o desenvolvimento de funcionalidades específicas para os usuários, cabendo aos SGBDE toda a tarefa das operações espaciais.

Apesar destes avanços considerados, pesquisadores da área que há mais de duas décadas prospectam novas ferramentas na área de SGBDE apontam a necessidade de intensificação de pesquisas em diversos campos, cujos resultados deverão ser incorporados aos produtos de mercado rapidamente.

Dentre estes campos incluem-se técnicas de *benchmarking*, *workflow*, modelagem dos dados, apresentação visual dos resultados das operações e espaços, que serão comentadas a seguir.

a) *benchmarking*

O *benchmark* Sequoia 2000 [30] caracterizou os dados e consultas em aplicações de Ciências da Terra. O desempenho para a carga de dados, consultas *raster*, consultas espaciais, junções espaciais e recursão é apresentado em onze consultas de *benchmark*.

O sistema de Paradise [9] também adiciona mais alguns *benchmarks*, porém são necessários *benchmark* similares para caracterizar a administração de dados espaciais necessários para outras aplicações como SIG, DWH e redes.

b) *workflow*

O fluxo de processos em algumas aplicações espaciais como SIG é baseado na manipulação de camadas para produzir novas camadas, derivadas das iniciais. Tipicamente, as camadas são combinadas em uma estrutura baseada em árvores, iniciando com um grande número de camadas fontes e produzindo novas camadas até a obtenção do resultado final.

Informações sobre a dependência entre as camadas são necessárias para detectar a propagação das modificações, no caso das camadas fontes serem alteradas e devem ser melhor estudadas [26].

c) concorrência

Bancos de dados espaciais podem requerer um tipo diferente de concorrência suportada em bancos de dados tradicionais. Por exemplo, transações em sistemas tradicionais tendem a ser pequenas (na ordem de segundos), mas em bancos de dados espaciais, estas transações podem durar algumas horas para edição e *browsing*. Similarmente, as técnicas de recuperação e *backup* também podem necessitar alterações visto que os objetos espaciais tendem a ser grandes (alguns megabytes) quando comparados aos sistemas tradicionais.

Novas abordagens para técnicas de controle de concorrência são necessárias

para os índices espaciais, já que a árvore *R-link* [16] é um das poucas abordagens disponíveis para controle de concorrência na *R-tree*.

d) novas formas de consultas

Muitas aplicações espaciais apresentam os resultados visualmente, em forma de mapas que consistem em imagens gráficas, dispositivos tri-dimensionais e animações. Estas aplicações também permitem aos usuários realizar consultas à representação por apontamento, utilizando dispositivos como um *mouse* ou uma caneta.

Conseqüentemente, pesquisas adicionais são necessárias para explorar o impacto de consultas por apontamento e da apresentação visual de resultados no desempenho de banco de dados.

e) espaço

Novas pesquisas são necessárias para a construção de um *framework* para formalizar os processos de discretização, seus erros associados e as interpolações.

Como as aplicações espaciais manipulam espaços contínuos e diferentes escalas e com níveis diferentes de discretização, uma seqüência de operações nestes dados discretizados pode conduzir a crescentes erros, semelhantes aos introduzidos pela aritmética de precisão finita nos números. Já existem estudos nesta área, com resultados preliminares publicados, [11] que utilizam uma base discreta e detectam erros de limites com semântica *peg-board*.

Outro problema decorrente se relaciona com a interpolação para estimar os campos contínuos, a partir de uma discretização.

f) modelo de dados espaciais

Modelos de dados espaciais têm sido desenvolvidos para os espaços topológicos, métricos e Euclideano e a própria especificação de OGIS é limitada a operadores topológicos [8]. São necessárias pesquisas que incorporem relações que envolvam propriedades direcionais [29] e propriedades métricas. Maiores esforços no desenvolvimento de pesquisa para os modelos de dados, tipos de dados e um conjunto núcleo de operações para redes, também são necessárias.

Semelhantemente, há uma necessidade de desenvolvimento do modelo de dados matriciais [33], envolvendo uma linguagem de consulta baseada em campos. Operações baseadas em campos são necessárias para auxiliar na investigação de novas informações.

g) processamento de consultas espaciais

Muitas áreas de pesquisa estão em desenvolvimento ao nível lógico do processamento de consultas, incluindo a modelagem *query-cost*, estratégias para vizinhos mais próximos, estratégias para a carga de dados e consultas relacionadas a campos e redes.

Os modelos *query-cost* são utilizados para avaliar e selecionar as estratégias promissoras de processamento, a partir da formulação de uma consulta espacial sobre um conjunto de dados espaciais.

Estes modelos tradicionais podem não ser precisos para estimar o custo de estratégias nas operações espaciais, devido ao componente distância métrica e as diferenças semânticas existentes entre os operadores relacionais e espaciais. Portanto, são necessários modelos *query-cost* que estimem a seletividade das operações de busca e junção espacial, objetivando comparar os custos para a execução de estratégias alternativas no processamento de operações espaciais realizadas durante a otimização da consulta.

Preliminarmente, bons resultados estão sendo obtidos com os trabalhos dentro do contexto da *R-tree*, de junções *tree-matching* e de modelos fractais [4], porém mais pesquisas são necessárias nesta área.

Semelhantemente, as estratégias normais, empregadas em bancos de dados tradicionais para o processo de *transformação lógica* na otimização de consultas, nem sempre podem ser aplicadas no contexto de bancos de dados espaciais.

Várias estratégias de processamento têm sido desenvolvidas para classificar consultas e junções espaciais, utilizando o predicado de sobreposição. Entretanto é necessário o desenvolvimento e a avaliação de estratégias para outras consultas freqüentes que incluem as consultas em objetos utilizando outros predicados diferentes de sobreposição, consultas em campos - como análise de declividade e consultas em redes - menor caminho para um conjunto de destinos.

Estratégias para a carga de grandes volumes de dados espaciais também necessitam de estudos adicionais.

h) organização de arquivos e índices espaciais

Vários trabalhos para a organização de arquivos e índices com distância métrica têm sido desenvolvidos para o espaço Euclidiano, em contrapartida poucas pesquisas são realizadas na área de arquivos *clustering* e índices espaciais para redes. Trabalhos adicionais são necessários, para caracterizar os padrões de acesso dos algoritmos gráfico que sustentam as operações de redes e projetar os métodos de acesso.

O projeto Sequoia 2000 [30] provê uma abordagem para o armazenamento terciário de arquivos e índices, porém outras aproximações para administrar bancos de dados em armazenamento terciário necessitam ser investigadas.

Deste panorama apresentado, conclui-se que apesar do enorme progresso que a tecnologia de bancos de dados espaciais representa para os usuários de SIG, os pesquisadores da área ainda almejam aperfeiçoar os produtos comerciais disponíveis no mercado e alavancar o aparecimento de outros.

7. REFERÊNCIAS

[1]_ Sunye, M. *Bancos de Dados*. Curitiba:UFPR/Departamento de Informática, 2001.

- [2]_ Asano, T.; Ranjan, D.; Roos, T.; Wiezl, E.; Widmayer, P. Space Filling Curves and Their Use In The Design of Geometric Data Structures. *Theoretical Computer Science*, v. 181, n. 1, p. 3–15, July 1996.
- [3]_ Baumann, P. Management of Multidimensional Discrete Data. *VLDB J.*, special issue on spatial database systems, v. 3, n. 4, p. 401–444, Oct. 1994.
- [4]_ Belussi, A. ; Faloutsos, C. Estimating the Selectivity of Spatial Queries Using the ‘Correlation’ Fractal Dimension. *Proc. 21ST Int’l Conf. Very Large Data Bases*, p. 299–310, Zurich, Sept. 1995.
- [5]_ Brinkhoff, T.; Kriegel, H. P.; Seeger, B. Efficient Processing of Spatial Joins Using R-Trees. *Proc. SIGMOD Conf. Management of Data*, p. 237–246, Washington D.C., ACM, June 1993.
- [6]_ Chamberlin, D. *Using The New DB2: IBM’s Object Relational System*, Morgan Kaufmann, 1997.
- [7]_ Chrisman, N. *Exploring Geographic Information Systems*, John Wiley and Sons, 1997.
- [8]_ Clemintini, E.; Di Felice, P. Topological Invariants for Lines. *IEEE Trans. Knowledge and Data Eng.*, v. 10, n. 1, p. 38–54, 1998.
- [9]_ DeWitt, D.J.; Kabra, N.; Luo, J.; Patel, J.M.; Yu, J.-B. Client-Server Paradise. *Proc. 20th Int’l Conf. Very Large Data Bases*, p. 558–569, Santiago de Chile, Chile, Sept. 1994.
- [10]_ Egenhofer, M. Spatial SQL: A Query and Presentation Language. *IEEE Trans. Knowledge and Data Eng.*, v. 6, n. 1, p. 86–95, 1994.
- [11]_ Güting, R.H. An Introduction to Spatial Database Systems. *VLDB J.*, special issue on spatial database systems, v. 3, n. 4, p. 357–399, 1994.
- [12]_ Guttman, R. R-Tree: A Dynamic Index Structure for Spatial Searching. *Proc. SIGMOD Conf., Ann. Meeting*, p. 47–57, Boston, ACM, 1984.
- [13]_ Abel, D.J. SIRO-DBMS: A Database Tool-Kit For Geographical Information Systems. *International Journal of Geographical Information Systems*, v. 3, n. 2, p. 103-116.
- [14]_ Waugh, T. C.; Healy, R. G. The GEOVIEW Design: A Relational Database Approach to Geographical Data Handling. *International Journal of Geographical Information Systems*, v. 1, n. 2, p. 101-118, 1987.
- [15]_ Kim, W.; Garza, J.; Kesin, A. Spatial Data Management in Database Systems. *Proc. Third Int’l Symp Advances in Spatial Databases*, p. 1–13, Lecture notes in Computer Science 692, Springer-Verlag, Singapore, 1993.
- [16]_ Kornacker, M.; Banks, D. High-Concurrency Locking in R-Trees. *Proc. 21st Int’l Conf. Very Large Data Bases*, p. 134–145, Zurich, Sept. 1995.
- [17]_ Laurini, R.; Thompson, D. *Fundamentals of Spatial Information Systems*, Academic Press, 1992.

- [18]_ Lee, J.; Lee, Y.; Whang, K.; Song, I. A Physical Database Design Method for Multidimensional File Organization. *Information Sciences*, v. 120, n. 1, p. 31–65, Oct. 1997.
- [19]_ Sellis, T.; Roussopoulos, N.; Faloutsos, C. The R+-Tree: A Dynamic Index for Multi-Dimensional Objects. *Proceedings of the Thirteenth International Conference on Very large Databases (VLDB)*. p. 507–518, Brighton, England, Mar. 1987.
- [20]_ Kim, W. *Modern database systems: the object model, interoperability, and beyond*. p. 338-384, Washington, D.C., ACM Press, 1995
- [21]_ Open GIS Consortium, *OpenGIS Simple Features Specification for SQL*, URL: <http://www.opengis.org>, 2002.
- [22]_ Patel, J. M.; DeWitt D. J. Partition Based Spatial-Merge Join. *Proc. 1996 SIGMOD Int'l Conf. Management of Data*, p. 259–270, Montreal, ACM, 1996.
- [23]_ Samet, H. *The Design and Analysis of Spatial Data Structures*, Addison-Wesley, 1990.
- [24]_ Scheck, H.; Waterfeld, W. A Database Kernel System for Geoscientific Applications. *Proceedings of the 2nd International Symposium on Spatial Data Handling*. p 273-288, Seattle, 1986.
- [25]_ Shekhar, S.; Coyle, M.; Liu, D.-R.; Goyal, B.; Sarkar, S. Data Models in Geographic Information Systems. *Comm. ACM*, v. 40, n. 4, p. 103–111, 1997.
- [26]_ Aref, W. G.; Samet, H. Extending a DBMS with Spatial Operations. In: *Advances in Spatial Databases*. p. 299-318. O. Gunther and H.J. Sheck, eds. Lecture Notes in Computer Science 525. Springer-Verlag, p. 299–318, 1991.
- [28]_ Beckmann, N.; Kriegel, H.P.; Schneider, R.; Seeger, B. The R*-Tree: An Efficient and Robust Access Method for Points and Rectangles. *Proceedings of the ACM-SIGMOD Conference*, Atlantic City, p 322-331, 1990.
- [29]_ Shekhar, S.; Liu, X. Direction As A Spatial Object. *Proc. GIS Workshop*, Maryland, ACM, Nov. 1998.
- [30]_ Stonebraker, M.; Frew, J.; Dozier, J. The Sequoia 2000 Storage Benchmark. *Proc. SIGMOD Conf. Management of Data*, p. 2–11, Washington D.C., ACM, May 1993.
- [31]_ Stonebraker, M.; Kennitz, G. Postgres Next -Generation Database Management System. *Comm. ACM*, v. 34, n. 10, p. 78–92, 1993.
- [32]_ Stonebraker, M.; Moore, D. *Object Relational DBMSs: The Next Great Wave*, Morgan Kaufmann, 1997.
- [33]_ Tomlin, C.D. *Geographic Information Systems and Cartographic Modeling*, Englewood Cliffs, N.J.: Prentice Hall, 1990.
- [34]_ Environmental Systems Research Institute, Inc. *ArcSDE 8*. Redlands, Ca, 1997-1998, 1 CD-ROM.
- [35]_ Worboys, M.F. *Geographic Information Systems: A Computing Perspective*, Taylor and Francis, 1995.

[36]_ Oracle Corporation. *Oracle Spatial*. Disponível em: < http://download-west.oracle.com/otndoc/oracle9i/901_doc/appdev.901/a88805 > Acesso em mar. 2002.

[37]_ International Organization for Standardization. *N 0229: SQL/MM – Parte 3 : Spatial*. Washington, DC, 1999.

REALIDADE VIRTUAL COMO FERRAMENTA NA CARTOGRAFIA 3D

Juliana Moulin Fosse¹
Luis Augusto Koenig Veiga²

- 1 Universidade Federal do Paraná – jmfosse@geoc.ufpr.br, jumoulin@yahoo.com
2 Universidade Federal do Paraná – kngveiga@geoc.ufpr.br

RESUMO

A cartografia sempre buscou representar o mundo real, tridimensional, em um plano. Este tem sido, durante vários anos, o grande desafio dos cartógrafos. Porém, com o desenvolvimento tecnológico ocorrido nas últimas décadas, surge um novo desafio: como representar tridimensionalmente este mesmo mundo, em um ambiente computacional. Quais seriam as implicações, do ponto de vista da cartografia, desta representação? Além de trabalhar agora com uma representação tridimensional, diferente dos mapas convencionais que são estáticos, esta pode ser dinâmica, com a possibilidade da interferência e interação do usuário. Esta nova forma de representar o mundo busca trazer a realidade mais facilmente ao usuário, além de proporcionar a ele a sensação de fazer parte dessa realidade. Uma maneira de responder a estas questões é utilizar a chamada Realidade Virtual. Este trabalho apresenta uma visão atual da aplicação da realidade virtual como ferramenta para a elaboração de produtos cartográficos em 3D, apresentando alguns exemplos, além de sugestão para novos trabalhos.

Palavras-chaves: Cartografia; Realidade Virtual; Visualização Cartográfica.

ABSTRACT

Cartography has always aimed at representing the real three-dimensional world on a plan. This has been through many years the great challenge which cartographers have faced. However, with all the advances in technology in the past decades, a new challenge emerges, namely, how to three-dimensionally represent this same world in a computational environment. What are the implications of this representation in respect to cartography? As well as being able to handle three dimensions, this kind of representation can have a dynamic character, rather than the static character

which conventional maps have, allowing the user to intervene and interact with the process. This new form of representation aims at bringing reality in a more intuitive manner, providing the user with the sense of being part of the scenario. This is the role of the so-called Virtual Reality discipline. This work presents an up-to-date analysis of the application of virtual reality as a tool for elaborating cartography products in three dimensions, showing a few examples and suggestions for future works.

Keyword: Cartography; Virtual Reality; Cartographic Visualization.

1. INTRODUÇÃO

O campo da visualização cartográfica tem experimentado um grande crescimento nos últimos anos. Em substituição aos mapas estáticos, ambientes virtuais têm proporcionado alto nível de imersão e interação, usados para exploração e representação de dados geoespaciais. Dessa maneira, a Realidade Virtual tem se apresentado como uma ferramenta de grande potencial na cartografia, buscando minimizar a diferença entre o mapa e a realidade.

Este trabalho consiste numa revisão bibliográfica sobre o uso da técnica de Realidade Virtual aplicada a projetos de cartografia e algumas mudanças e benefícios proporcionados por essa nova ferramenta. A Linguagem Cartográfica usada na cartografia convencional é discutida e deve ser questionada quanto a sua aplicação na cartografia 3D. Alguns trabalhos desenvolvidos por outros profissionais da área são apresentados e podem servir de referência para o futuros trabalhos. E, finalmente, uma síntese da linguagem padrão para a construção dos mundos virtuais, a *VRML*, e sua extensão usada para representar e visualizar dados geográficos, a *GeoVRML*, sua estrutura e principais características.

2. LINGUAGEM CARTOGRÁFICA

O objetivo de um mapa é levar informações corretas e claras ao usuário. Para isso, o cartógrafo deve ter bem definido o propósito de seu mapa e conhecer o fenômeno a ser representado. Assim, poderá decidir quais as características do fenômeno devem ser representadas, como estrutura-las através dos níveis de medidas e por quais variáveis visuais essas informações serão melhor representadas. Segundo SLUTER (2001), só através de uma relação adequada entre o nível de medida e a primitiva gráfica que é possível uma comunicação eficiente da informação cartográfica.

Segundo SLUTER (2001), o nível de medidas das características de um fenômeno a ser representado pode ser nominal, ordinal, intervalar ou de razão. Para

CÂMARA et al (1998) o nível de medida nominal baseia-se na denominação de objetos segundo classes iguais ou distintas. O nível de medida ordinal também atribui valores ou nomes para as classes, porém gerando um conjunto ordenado, ou seja, é permitido uma classificação hierárquica do fenômeno representado (SLUTER, 2001). O nível de medida intervalar e de razão são aplicados quando a representação do fenômeno necessita de uma descrição mais detalhada, permitindo comparar intervalos ou ordenar grandezas numéricas entre eventos. A diferença entre estes níveis de medida é o ponto de referência, que é definido de forma arbitrária para o intervalar e absoluto quando se refere a razão (CÂMARA et al, 1998).

Segundo ROBBI (2000), as variáveis visuais devem representar as variações gráficas do fenômeno, através de símbolos pontuais, lineares ou de área. Essas variáveis visuais devem representar as características estabelecidas pelos níveis de medidas de forma adequada, através das variáveis visuais tamanho, forma, cor (tom, luminosidade e saturação) ou padrão (textura, orientação e arranjo).

O tamanho deve sempre estar associado a ordem e quantidade, e ser evitado na representação de dados nominais. A forma representa adequadamente classes de dados semelhantes. A cor, por sua vez, se decompõe de acordo com as propriedades de tom (apropriado para distinguir diferentes tipos de feições), luminosidade e saturação (que caracterizam ordem visual). O arranjo, visa variar a posição relativa das marcas que formam um padrão, indo do regular ao irregular. Diferentes orientações representam diferentes classes de uma variável, e também é recomendável para representar diferenças nominais. A textura, variação do tamanho e espaçamento das marcas gráficas, representa diferenças nominais quando a relação branco-preto se mantém constante, porém, quando tamanho constante e espaçamento variável, representa classes ordinais (SLUTER, 2001).

3. CARTOGRAFIA 3D

Segundo VAN DRIEL (1989), citado por REED (2000), estima-se que cinquenta por cento dos neurônios humanos são envolvidos no processo da visão e, além disso, acredita-se que as imagens 3d estimulam ainda mais neurônios, envolvendo assim uma grande parte do cérebro no processo de solução de problemas. Ainda segundo o autor, nos mapas 2d, no caso do relevo, a mente deve primeiro construir um modelo conceitual antes de fazer a análise, enquanto nos modelos 3d, simuladores de realidade espacial, conseqüentemente, conseguem reconhecer e nos fazer entender as mudanças em elevação mais rapidamente.

A cartografia sempre buscou representar o mundo real, tridimensional, em um plano. Porém, com o desenvolvimento tecnológico ocorrido nas últimas décadas, surge um novo desafio, que é representar tridimensionalmente este mesmo mundo em um ambiente computacional. Além de trabalhar agora com uma representação

tridimensional, diferente dos mapas convencionais que são estáticos, esta pode ser dinâmica, com a possibilidade da interferência e interação do usuário. Esta nova forma de representar o mundo busca trazer a realidade mais facilmente ao usuário, além de proporcionar a ele a sensação de fazer parte dessa realidade.

Segundo CHOEFI (1999), muitos modelos urbanos tridimensionais têm sido usados para o treinamento tático militar e policial, no entretenimento e turismo virtual, e principalmente pelo setor das telecomunicações, através do estudo de localização de antenas retransmissoras de sinais de telefonia celular. A vigilância e segurança dos grandes centros urbanos também têm se beneficiado dos modelos tridimensionais para o posicionamento de câmaras de circuito fechado de televisão. Esta ferramenta também é de grande interesse para planejadores urbanos, uma vez que estes podem visualizar qual será o resultado de ver seu trabalho tridimensionalmente, permitindo estética no contexto urbano de novos projetos arquitetônicos e urbanísticos, sistema de transporte e infra-estrutura em geral.

Segundo RANZINGER e GLEIXNER (1997), a visualização tridimensional dada pelo “novo” mapa, dá uma impressão mais realista ao usuário e ajuda a identificar áreas com problemas urbanos, que dificilmente seriam identificadas através dos mapas convencionais, além de permitir uma tomada de decisão mais rápida e eficiente.

Quando o mundo tridimensional é representado em duas dimensões na cartografia convencional, torna-se necessário que o usuário realize um processo mental para reconstituir esse mundo novamente em 3D. Isso requer habilidade por parte do usuário e um maior conhecimento por parte do cartógrafo, para que esse realmente leve o usuário a interpretar o que ele deseja.

A criação de um mapa tridimensional urbano requer a obtenção das coordenadas XYZ de todos os elementos que compõem a sua área. Várias técnicas têm sido usadas buscando extrair esses dados de forma rápida e segura. Além disso, também torna-se necessário a geração de um modelo digital do terreno (MDT) da área urbana que deverá servir como base para a implantação das edificações e demais elementos a serem projetados (CHOEFI, 1999).

Dentre as diversas técnicas disponíveis para a obtenção destes dados, pode-se destacar a restituição fotogramétrica e mais recentemente o uso de *Laser Scanner*. Em alguns casos, quando só há existência de dados planimétricos da área, é possível determinar a coordenada Z por técnicas topográficas, utilizando o sistema GPS (Sistema de Posicionamento Global) ou mesmo estimando estes valores através do número de andares ou das plantas arquivadas em prefeituras. Cada método possui diferentes vantagens, limitações e nível de precisão. Portanto, a escolha do método a ser empregado deverá levar em consideração questões como precisão e custo.

Em muitos casos, para tornar mais realista o mundo tridimensional pode-se utilizar texturas aplicadas às superfícies e objetos. Estas texturas nada mais são que fotos dos elementos representados.

Muitos *softwares* têm sido desenvolvidos para a criação de mundos virtuais. A *VRML (Virtual Reality Modeling Language)* tem se destacado como uma das principais ferramentas de apoio à construção desses mapas tridimensionais, também chamados de mundos virtuais, que além de manter a acurácia necessária dos documentos cartográficos, permite que o usuário interaja com esse mundo, o que até então não era possível.

4. REALIDADE VIRTUAL

De acordo ROBBI (2000), o papel dos mapas pode ultrapassar o da comunicação e ser utilizados como ferramenta de análise visual. Esse processo é chamado de visualização cartográfica. PETERSON (1995) ressalta a importância da visualização na ilustração gráfica para análise e interpretação, e reconhece que todos os seres humanos tem habilidade especial para interpretar essas apresentações gráficas e que essa habilidade deve ser explorada. A mais relevante proposta da visualização é a produção de *insights* para novas descobertas, entendimentos e tomadas de decisão. Animação, multimídia e realidade virtual, são as técnicas que segundo SANDERCOCK (2000), citado por ROBBI (2000), possibilitam essa visualização.

MACHADO (1995) define Realidade Virtual como um conjunto de métodos e técnicas capazes de permitir a integração sensitiva entre o usuário e o computador, objetivando dar a este a máxima sensação de presença no mundo virtual. Em geral, refere-se a uma experiência imersiva e interativa, baseada em imagens gráficas tridimensionais geradas em tempo-real por computador.

Ainda segundo autor, os sistemas de RV diferem entre si de acordo com o nível de imersão e de interatividade proporcionado ao usuário. Esses níveis de imersão e interação são determinados de acordo com os tipos de dispositivos de entrada e saída de dados no sistema de RV, e da velocidade e potência do computador utilizado. A imersão pode ser definida pela característica de prender a atenção do usuário, enquanto a interatividade refere-se à comunicação usuário-sistema.

Um sistema de Realidade Virtual permite a representação tridimensional das características espaciais das informações e a sua interação com o usuário, gerando uma análise qualitativa direta mais intuitiva, o que é extremamente útil no desenvolvimento de projetos de engenharia.

De acordo com MOORE (1999), muitas características da cartografia tradicional podem ser reavaliadas através da realidade virtual, ao mesmo tempo que novas idéias podem ser exploradas e metodologias desenvolvidas para assegurar um ambiente útil e importante para visualização e representação de dados cartográficos.

5. MODELAGEM DOS MUNDOS VIRTUAIS

O grande avanço tecnológico ocorrido nos últimos anos tornou os computadores pessoais mais rápidos e poderosos, permitindo o usuário comum usufruir dos benefícios da realidade virtual, o que antes era restrito apenas aos grandes centros de pesquisa. A *VRML (Virtual Reality Modeling Language)* é uma linguagem de modelagem de mundos virtuais, que tem por objetivo levar ao usuário comum a realidade virtual através da internet. Esta linguagem é independente de plataforma, e permite a criação de ambientes virtuais por onde se pode passear, visualizar objetos de diferentes ângulos e interagir com eles.

Segundo MACHADO (1995), a *Virtual Reality Modeling Language* é uma linguagem de alto nível para descrição de cenas e ambientes interativos em 3D, ou seja, uma linguagem de programação de mundos virtuais para RV que permite a criação de ambientes virtuais e a interação entre esses. Essa linguagem armazena apenas dados geométricos e informações matemáticas para modelagem das feições e fenômenos que compõem o mundo real, o que permite a visualização desses mundos de forma totalmente interativa em tempo real, utilizando arquivos considerados pequenos e equipamentos de baixo custo.

A *VRML* é composta por um arquivo *ASCII* e em geral tem a extensão *.wrl*, além de *.vrml*, *.wrz* ou *.wrl.gz*. Os arquivos podem ser editados em qualquer editor de texto e tem formato análogo aos arquivos *HTML (HyperText Markup Language)*, e seus objetos podem ser visualizados através de um *browser*.

Essa linguagem foi apresentada pela primeira vez durante a *Second International Conference on the WWW*, em outubro de 1994, em Chicago, conhecida como *VRML 1.0*, herdando em grande parte o formato do *software Open Inventor da Silicon Graphics* (CARRARD, 2001).

Os mundos virtuais criados nessa versão eram de interação muito limitada. Com a necessidade de dar animação, interação e modelagem comportamental às geometrias criadas, em agosto de 1996 foi lançado no SIGGRAPH, em New Orleans, uma nova versão da linguagem denominada *Moving Worlds VRML 2.0* (PESSOA e ARAÚJO, 1999). No ano seguinte, após algumas modificações a *International Standards Organization (ISO)* aprovou essa linguagem como padrão e passou a ser chamada por *VRML 97*.

Um mundo *VRML* é um conjunto de objetos que pode conter geometrias, sons, imagem, luzes, etc. Esses objetos são denominados nós (ou nodos) e organizados em estruturas hierárquicas chamadas *scene graphs*, onde uma ordem é definida para os nós. Em uma *scene graph*, os nós que aparecem antes afetam os posteriores. Porém, uma parte da *scene graph* também pode ser isolada de outra através de nós separadores, o que delimita o efeito citado anteriormente (SILVA, 1999).

O nó é o componente fundamental de uma cena em *VRML*, e segundo SILVA (1999) pode ser definido como abstrações dos objetos e conceitos do mundo real. Os nodos contém campos e eventos. Os principais tipos de nós que podem compor um arquivo *VRML* para a construção dos mundos virtuais são os Nodos de Aparência

(define o “visual” do objeto), os Nodos de Geometria (representado pelas primitivas geométricas e outras estruturas mais complexas) e os Nodos de Agrupamento (que agrupa e pode criar uma hierarquia de transformações que são herdadas dos nodos pais para os nodos filhos).

Os Eventos, por sua vez, são utilizados para a troca de mensagens de um nó para outro através de uma Rota, que é a conexão entre o nó gerador do evento e o nó receptor do evento. Os eventos sinalizam mudanças nos valores dos campos, estímulos externos, interações entre nós, etc. O Campo é o parâmetro usado para definir os atributos de um nó e, conseqüentemente, distinguir um nó de outro do mesmo tipo. Todo campo tem nome, tipo e um valor *default*. Também é possível acrescentar comentários no arquivo *.wrl* através de um texto.

Um dos nós mais interessantes para aplicações cartográficas é o *ElevationGrid*. Através deste nó é possível representar a superfície terrestre através de um gride com valores de altura. Outro nó que também é possível a esta representação é o *IndexFaceSet*. Porém, é necessário especificar as coordenadas de cada ponto da malha e os pontos que constituem cada face da representação, o que o torna muito complexo e por isso pouco utilizado.

O grande benefício do uso da *VRML* na confecção de modelos digitais de terreno é o aumento da interatividade do usuário, ampliando seu poder de visualização e permitindo a observação de detalhes que antes não eram suficientemente visíveis devido às limitações dos programas disponíveis no mercado (CAPRA e SAMPAIO, 1999).

SANTOS e CANDEIAS (2001) cita que há duas formas de descrever uma topografia em *VRML*: em estrutura de arame e com textura. A textura pode ser uma fotografia ou uma imagem da região estudada, ou qualquer grandeza mapeada em tons de cinza ou cores. E o fato desta linguagem permitir acrescentar efeitos de luz e sombras gera resultados bastante realistas.

Outra forma de uso da técnica de RV para visualização de uma superfície topográfica tridimensional é através do fenômeno de estereoscopia gerado a partir de pares retificados de fotografias aéreas ou imagens de satélites (SANTOS e CANDEIAS, 2001).

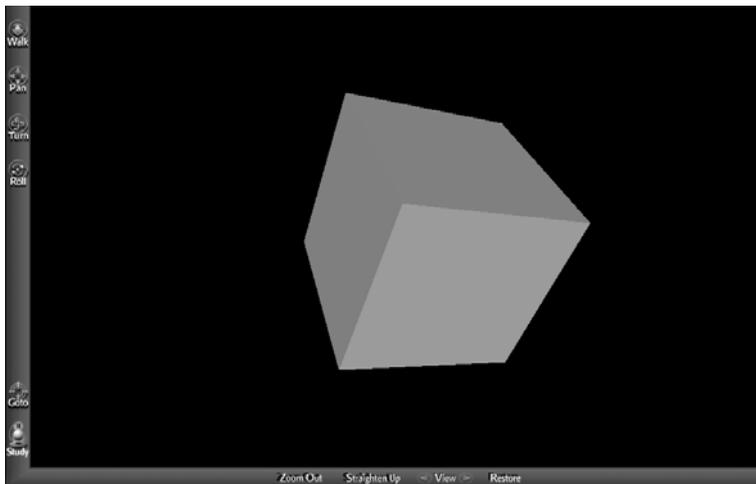
Esta visualização tridimensional do modelo além de propor uma interface mais amigável e atraente ao usuário, demonstra ser muito mais útil na execução de determinados projetos, permitindo uma análise qualitativa direta e bem mais intuitiva que as cartas topográficas, possibilitando até mesmo por usuários leigos e não ligados às áreas de Geoprocessamento e Cartografia possam interagir com as informações apresentadas. Ver o modelo de diferentes ângulos, poder acrescentar texturas e inserir objetos na cena, além de posicionar fontes de luz e acrescentar paisagens de fundo, andar ou sobrevoar o modelo com facilidade de interação, mostra que a Realidade Virtual tem um vasto campo de atuação na área da Geociência.

A figura 01 apresenta um arquivo *ASCII* no padrão *VRML 2.0* para a representação de um cubo. E a figura 02 mostra a representação gráfica deste elemento.

FIGURA 01: ARQUIVO CUBO .WRL

```
#VRML V2.0 utf8
#Exemplo - Box
Shape {
  appearance Appearance {
    material Material {}
  }
  geometry Box {}
}
```

FIGURA 02: CUBO .WRL.



6. REPRESENTAÇÃO DE DADOS GEOGRÁFICOS NOS MUNDOS VIRTUAIS

A *GeoVRML* é uma extensão da *VRML* usada para representar e visualizar dados geográficos através de um *plug-in*, específico para este fim, que deverá ser visualizado pelo usuário através de um *browser web*.

A *GeoVRML* é um conjunto de novos nós adicionados a *VRML 97*, que reoriginou de um grupo de discussão, criado em fevereiro de 1998, para estudar as

necessidades de trabalhar dados geográficos tridimensionais na *web*. Em 2000, foi aceita oficialmente pela *Web3D Consortium* como *GeoVRML 1.0*.

Dentre os grandes benefícios trazidos pela *GeoVRML*, podemos destacar a incorporação do sistema de coordenadas latitude/longitude e UTM (Universal Transverso de Mercator) diretamente num arquivo *VRML*, diferenciando do sistema de coordenadas único XYZ (largura, altura e profundidade) da *VRML* e podendo até unir esses dados, de diferentes sistemas, para uma visualização global.

De acordo com IVERSON E REDDY (2000), a *GeoVRML* ainda sustenta três sistemas de coordenadas, vinte e um elipsóides e um geóide. Ainda segundo o autor, a precisão dada pela *VRML 97*, que às vezes é insuficiente para determinados trabalhos geográficos, pode ser estendida e chegar a posições de acurácia milimétrica com o uso de alguns artifícios da *GeoVRML 1.0*.

A *GeoVRML* também possibilita o carregamento dos dados proporcionalmente a escala atribuída, generalizando e apresentando somente as informações necessárias a escala usada. Um subconjunto genérico de metadados também pode ser incluído para descrever dados relevantes dos objetos geográficos referidos (IVERSON e REDDY, 2000). Animações podem ser apoiadas e interpoladas dentro dos sistemas de coordenadas geográficas, como por exemplo, em alguns pontos específicos da superfície da Terra. Além da descoberta da coordenada geográfica de qualquer ponto georreferenciado em uma cena *GeoVRML* também tornar-se possível (IVERSON e REDDY, 2000).

Muitos trabalhos já têm sido realizados, usando os nodos da *GeoVRML*. Dentre esses, podemos citar o *DEM2GeoEG*, da *U.S. Geological Survey*, que é um programa usado para converter Modelos Digitais de Elevação (*DEM*) em um arquivo *.wrl*, usando o nodo *GeoElevationGrde*. Uma de suas vantagens é integração de vários *DEMs* corretamente co-alinhados, além de preservar as coordenadas UTM do arquivo *VRML*, apresentando corretamente a curvatura da Terra (REDDY, 2000).

Segundo IVERSON e REDDY (2000), é notável os avanços decorridos da *GeoVRML 1.0*, porém, algumas limitações ainda existem e tentarão ser supridas numa versão futura da *GeoVRML*, como por exemplo, a utilização de mais de um sistema de coordenadas local, o processamento direto de orto-retificação de imagens e o acréscimo de outros sistemas de coordenadas geográficas, entre outros.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS E TRABALHO FUTURO

A Realidade Virtual tem demonstrado ser uma poderosa ferramenta de apoio a projetos cartográficos. A análise visual e a sensação de presença no mundo virtual, são alguns dos maiores benefícios trazidos por esta tecnologia.

Com os atuais produtos disponíveis no mercado já é possível elaborar mapas tridimensionais, porém a grande lacuna é como adaptar os conceitos da cartografia tradicional a esta nova realidade tridimensional.

Como representar questões referentes a aplicação de texturas, iluminação, simbologia, entre outras, de forma a transmitir a correta informação sobre o meio representado ao usuário. Como generalizar a representação tridimensional de feições. São questões que os cartógrafos deverão responder nos próximos anos.

As limitações existente na linguagem de modelação dos mundos virtuais (*VRML*) tem sido superadas a cada nova versão. A *GeoVRML* supriu grandes necessidades relativas ao emprego de dados geográficos na modelagem dos mundos virtuais, porém, algumas limitações ainda existem e deverão ser supridas em versões futuras.

8. REFERÊNCIAS

BRAMORSKI, M. M. e MARQUES, E. F. **Apostila de VRML Básico**. Universidade Federal de Santa Catarina. 1998. Apostila.

CAMARA, Gilberto et al. **Conceitos Básicos em Ciência da Geoinformação**. 1998. Disponível em: < <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/index.htm>> Acesso em: set. 2002.

CAPRA, M. e SAMPAIO, A. C. F. *RVML* na Cartografia: Estudo de Caso de Compatibilização de Arquivos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, 19., 1999, Recife. **Anais...** Recife: XIX CBC, 1999, Cd-Rom.

CARRARD, Marcos. **Tutorial VRML 2.0**. Universidade Regional do Noroeste do Estado Rio Grande do Sul- UNIJUÍ / Departamento de Tecnologia. Ijuí (RS). 2001. Apostila.

CASTIER, Beatriz; REIS, Luciano P. dos; COHEN, Marcelo. **Tutorial de VRML**. In: SIBGRAPH 97. Campos do Jordão, 1997.

CHOHFI, Reinaldo E. Mapeamento Urbano Tridimensional. **InfoGEO**, Brasil, n.07, a.02, p.52-4, mai./jun. 1999.

DANAHY, John. *Virtualising the 3D Real World (2) – Visualisation Data Needs in Urban Environmental Planning and Design*. **GIM International**, xxxxx , v.14, n.5, p. 12-15, 2000.

IVERSON, Lee e REDDY, Martin. *GeoVRML 1.0 Recommended Practice - Web Consortium, 2000*. **Citação de referências a documentos eletrônicos**. Disponível em: <<http://www.geovrml.org>> Acesso em: out. 2002.

KRAAK, Menno-Jan. *Geovisualization, Webmaps and Virtual Reality*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, 20.,2001, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: XX CBC, 2001, v.1, Cd-Rom.

LEMMENS, Mathias. *Virtualising the 3D world*. **GIM InternaTional**, Holanda, v.14, n.04, p.48-51, abr. 2000.

MACHADO, Liliane dos Santos. **Conceitos Básicos da Realidade Virtual**. INPE, 1995. Disponível em: <<http://www.lsi.usp.br/~liliane/conceitosrv.html>> Acesso em: ago. 2001].

MAREN, Gert van e VERBREE, Edward. *Virtualising the 3D Real World (3) – Karma-vl: 4D GIS and Virtual Reality for Urban Planning*. **GIM International**, Holanda , v.4, n.6, p. 34-36, 2000.

MOORE, Kate. *VRML and Java for Interactive 3D Cartography*. In: CARTWRIGHT, William; PETERSON, Michael P.; GARTNER, Georg. **Multimedia Cartography**. Alemanha: Springer, 1999. 343 p. p.205-16.

PESSOA, B. D. S. e ARAÚJO FILHO, M. S. C. **Criação de Mundos Tridimensionais na Internet: Uma Introdução Operacional a VRML**. Escola de Tecnologia da Universidade Federal de Pernambuco. 1999. Apostila.

PETERSON, M. P. **Interactive and Animated Cartography**. Prentice Hall, Nova Jersey. 1995.

POLLEFEYS, Marc e VAN GOOL, Luc. *Virtualising the 3D Real World (1) – Automatic Method for the Acquisition of Detailed 3D Models for Image Sequences*. **GIM International**, Holanda , v.14, n.4, p. 12-14, 2000.

RANZINGER, Monika e GLEIXNER. Gunther. *Gis Datasets For 3D Urban Planning*. **Computer, Environment and Urban Systems**, Holanda, v. 21, n. 2, p. 159-173, 1997.

REDDY, Martin; IVERSON, Lee; LECLERC, Ivan G. *Under the Hood of GeoVRML 1.0*. In: **Proceedings of The Fifth Web3D/VRML Symposium**. Monterey, California. 2000.

REED, Carl. *Virtualising the 3D Real World (5) – Importance of Data Integration and Rendering to Map Visualisation*. **GIM International**, Holanda , v.14, n.8, p. 50-53, 2000.

ROBBI, Claudia. **Sistema para Visualização de Informações Cartográficas para Planejamento Urbano**. São José dos Campos, 2000. Tese (Doutorado em Computação Aplicada) - INPE / Ministério da Ciência e Tecnologia. [INPE-7890-TDI/739].

ROBINSON A. H. et al. *Elements of Cartography*. 6ª ed. Estados Unidos: John Wiley & Sons, 1995.

SANTOS, W. P. dos e CANDEIAS, A. L. B. Utilização da Realidade Virtual para Geração de Modelos e Perfis Topográficos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, 20., 2001, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: XX CBC, 2001, Cd-Rom.

SILVA, S. T. da. **Integração de Técnicas de Modelagem com a VRML**. São Leopoldo. 1999. Monografia. UNISINOS.

SLUTER, Claudia Robbi. **Linguagem Cartográfica**. Curso de Especialização em Geoprocessamento, CIEG - UFPR, 2001. Apostila.

SWANSON, James. *The Cartographic Possibilities of VRML*. In: CARTWRIGHT, William; PETERSON, Michael P.; GARTNER, Georg. *Multimedia Cartography*. Alemanha: *Springer*, 1999. 343 p. p.181-94.

UNISUL - UNIVERSIDADE DO SUL DE SANTA CATARINA. **Trabalho sobre Realidade Virtual**. 1996. Disponível em: <<http://reiag.vila.bol.com.br>> Acesso em: ago. 2001.

GEOTECNOLOGIAS APLICADAS EM ESTUDOS AMBIENTAIS: ESTUDO DE CASO NO PARQUE ESTADUAL DE CAMPINHOS – PR

Alex Soria Medina¹
Elaine de Cacia de Lima¹
Sandro José Briski¹

Universidade Tuiuti do Paraná – alex.medina@utp.br; elainecacia@ig.com.br; sandro.briskil@utp.br

RESUMO

A utilização de geotecnologias como o sensoriamento remoto e o geoprocessamento auxiliam em análises e interpretações da paisagem, permitindo tomadas de decisão para estabelecer a sustentabilidade de áreas naturais ou alteradas. O recorte espacial tomado como objeto de estudo foi o Parque Estadual de Campinhos localizado nos Municípios de Tunas e Cerro Azul no Estado do Paraná, contendo dentro dos seus limites áreas naturais e culturais, atualmente utilizadas para atender a demanda turística. As cavernas são o principal enfoque e atração da área, sendo consideradas patrimônio ecológico de grande importância, em função de sua formação geológica e por apresentar-se como um vasto campo para possíveis estudos e pesquisas que podem ser realizadas para atender às necessidades dos municípios e da comunidade ali estabelecida. Com a ferramenta do sensoriamento remoto utilizando fotografias aéreas, elaborou-se a carta de uso e cobertura do solo com a distribuição dos elementos que compõem a paisagem do parque, através da interpretação visual. Foram também elaborados produtos de MDT (Modelo Digital do Terreno), através de curvas de nível com equidistância de 5 metros, cedidas pela SEMA (Secretaria Estadual do Meio Ambiente), com o objetivo de avaliar a morfologia do parque através de produtos como: hipsométrico, clinográfico, vetores, bloco diagrama e imagem sombreada. As cartas de hipsometria e de clinografia foram confeccionadas utilizando o *software* SPRING versão 3.6. E os demais produtos do MDT foram confeccionados a partir do *software* SURFER versão 7.0. Com a utilização das geotecnologias, pode-se concluir a sua importância em aplicações de projetos voltados as questões ambientais, através da elaboração de produtos cartográficos específicos e de suas sobreposições onde são obtidas respostas sobre a área analisada, facilitando o desenvolvimento de planejamentos adequados, tendo como resultado uma melhor qualidade da paisagem.

Palavras-chave: Geotecnologias; Qualidade da paisagem; Análises

GEOTECHNOLOGY APPLIED IN ENVIRONMENTAL STUDIES: CASE THE STATE PARK OF CAMPINHOS – PR

ABSTRACT

The use of Geotechnology like Remote Sensing and Geoprocessing, help in analyses and interpretations from the landscape, permit take decision to establish to defensibility of natural areas or altered. The area taken to study was the State Park of Campinhos located in Tunas and Cerro Azul in the State of the Paraná, containing inside his natural limits areas and of cultural, at present utilized to attend the tourist demand. The caverns are the main approach and appeal from the area, being considerate ecological patrimony of big importance, in function of his geological formation and present a vast field for possible studies and researches that can be carried out to attend to the needs of the towns and from the community there established. Tool like Remote Sensing utilizing air photographs, elaborate maps of use and cover soil with the distribution of the elements that compose the landscape of the park, through from the visual interpretation. Them also elaborate products DTM (Digital Terrain Model), through of curves of level with equidistance of 5 meters, given up by the SEMA (State Office of Environment), with the objective of evaluate to morphology of the park through of products like: Hypsometric, Clinographic, Vectors, Diagram Block and shape image. Maps of hypsometric and of clinographic they were produce by SPRING software version 3.6. And the two products of the DTM were produced by SURFER 7.0 software with the utilization of the geotechnology, is able to conclude to theirs importance in application of projects come back the environmental questions where do they be obtained answers about the area analyzed, facilitating the adequate development and planning, having as result a better quality from the landscape.

Keywords: Geotechnology; environment; analisys

1. INTRODUÇÃO

Atualmente estudos destinados a compreensão de sistemas ambientais, considerando a dinâmica e a conexão entre os elementos que formam o meio ambiente, tratando os mesmos de forma holística, onde os fenômenos de energia e matéria não devem ser analisados de forma compartimentada e sim de forma integrada e indissolúvel, respeitando as características localizacionais e temporais de cada área e suas particularidades físicas e biológicas, além das culturais e sociais estabelecidas pela atividades humanas em todos seus segmentos, representam em seus resultados instrumentos que possibilitam realizar planos e programas de gestão

e planejamento do espaço geográfico, estabelecendo modelos adequados voltados à sustentabilidade ambiental.

Para auxiliar nesta busca da compreensão integrada dos componentes que formam o meio, surge como instrumento e técnica os avanços na área das geotecnologias, onde associam-se informações e instrumentos de tratamento analógico, gerando como produtos informações georeferenciadas em formatos eletrônicos e digitais tornado possível e mais dinâmico à aquisição dos conhecimentos que favorecem as análises que por sua vez pressupõe os diagnósticos que tornam possíveis os prognósticos.

O objetivo deste trabalho é aplicar técnicas e métodos relacionados à geotecnologia, através do geoprocessamento e sensoriamento remoto, para a avaliação da aplicabilidade destes modelos no conhecimento estrutural do meio ambiente.

Para tanto definiu-se como área de estudo o Parque Estadual de Campinhos localizado nos Municípios de Tunas do Paraná e Cerro Azul no setor leste do Estado do Paraná, pelo mesmo apresentar características distintas de áreas “karsticas”, que possuem dinâmicas diferenciadas de comportamento entre a conexão dos elementos que em conjunto definem estas regiões, se comparadas a outras regiões semelhantes porém sem a presença de cavernas, as quais devem ser consideradas como uma extensão e expressão das trocas e fluxos de energia e matéria do meio externo. Por apresentar esta distinção os resultados obtidos com auxílio das geotecnologias podem ser melhor avaliados, estabelecendo parâmetros para avaliação e funcionalidade destas técnicas aplicadas a geossistemas particularizados por peculiaridades próprias.

3. MATERIAS E MÉTODOS

A pesquisa foi desenvolvida em três fases: campo, geoprocessamento e escritório. A utilização da geotecnologia (geoprocessamento e sensoriamento remoto) se fez necessária para a análise e interpretação dos fatores inter-relacionados do meio, favorecendo uma melhor compreensão em relação à vulnerabilidade do recorte espacial referente ao seu complexo sistema geoambiental.

Para a realização desta pesquisa utilizou-se o método indutivo, o qual se aplica a observações e regularidades ocorridas na integração de todos os componentes ambientais.

3.1 MATERIAIS

Campo:

- utilização do receptor GPS de navegação, para localização e georreferenciamento de pontos de monitoramento.

Geoprocessamento:

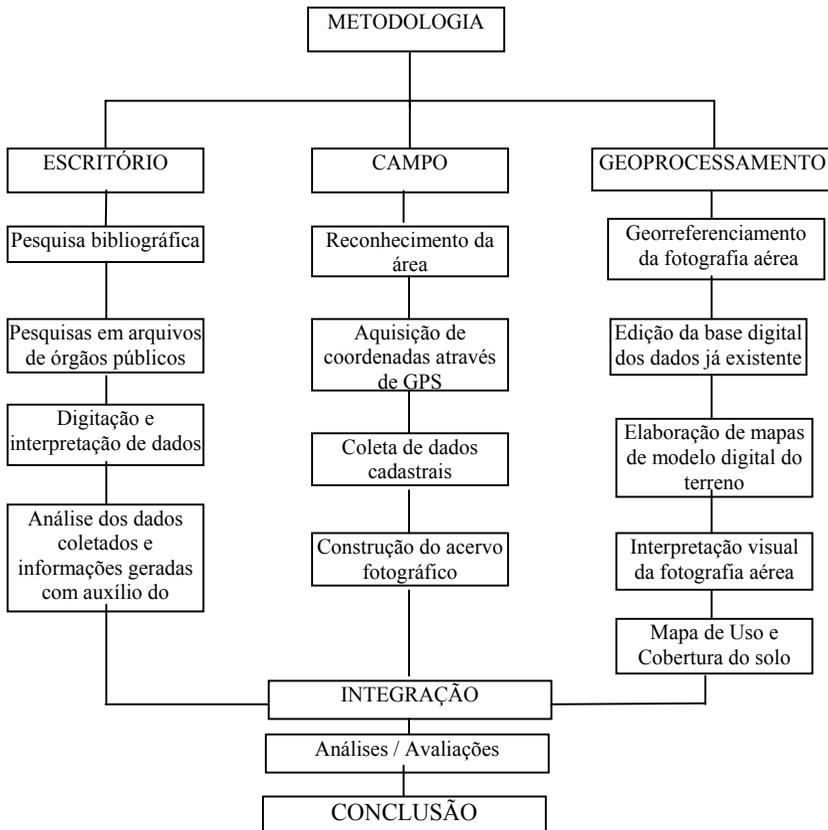
- Fotografias aéreas em escala 1:25000 do ano de 1980, cedidas pela SEMA (Secretaria Estadual de Meio Ambiente);
- Base digital de dados constituído de curvas de nível, malha viária, rede de drenagem e contorno do parque, além dos mapas temáticos de solo e geologia, também cedidos pela SEMA;
- Utilização do Sistema SPRING[®] versão 3.6, *software* de ambiente SIG (Sistema de Informações Geográficas), para a elaboração e integração dos produtos cartográficos e do *software* SURFER[®] 7.0 para a elaboração dos MDTs (Modelos Digitais do Terreno).

Escritório:

- Material bibliográfico referente ao embasamento da pesquisa.

3.2 MÉTODOS

FIGURA 01- FLUXOGRAMA DO DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA



- Definição dos objetos observados: pesquisas de campo, para reconhecimento e análise da área, o Georreferenciamento com GPS, acervo fotográfico e constatação do uso e cobertura do solo.

- Geoprocessamento:

O registro (georreferenciamento) da fotografia aérea foi realizado através da base digital já existente, identificando verossimilhanças na fotografia e nos elementos vetoriais, correlacionando os pontos de controle alocados na fotografia com as mesmas coordenadas das informações vetoriais utilizando como parâmetro principalmente a rede de drenagem e a malha viária.

Através da fotografia aérea, realizou-se:

- Uma interpretação visual, onde através de alguns elementos ocorrentes na fotografia como: forma, tamanho, tonalidade, textura, padrão, sombra e posição, pôde-se identificar os componentes integradores do recorte espacial estudado, obtendo uma Carta de Uso e Cobertura do Solo a qual foi verificada com supervisão de campo. Esta comprovação de campo foi necessária em função da fotografia aérea ser do ano de 1980, onde alguns fatores na área foram alterados/modificados no decorrer dos anos, desta maneira foi integrada a visualização da paisagem sobre a fotografia e da paisagem atual *in loco*, obtendo-se uma interpretação visual do Parque.

Optou-se por uma interpretação visual de fotoanálise e não a classificação digital de uma imagem orbital, pela dimensão do recorte espacial do parque, onde a utilização da imagem de satélite apresentou incompatibilidade de escalas, dificultando as interpretações para o desenvolvimento das avaliações ambientais.

Através das curvas de nível com equidistância de 5 m, foram elaborados produtos de MDT (Modelo Digital do Terreno).

Os produtos elaborados foram:

- Carta Hipsométrica : este produto tem a finalidade de demonstrar a diferença altitudinal representado por faixas temáticas;
- Carta Clinográfica : através deste produto observa-se as inclinações da área, que podem auxiliar nas tomadas de decisão em relação à conservação do terreno, apontando áreas com potencial de fragilidade ambiental;
- Relevo Sombreado: visualiza-se a morfologia do terreno e outros aspectos integrantes do recorte espacial. Como a estrutura e ocorrência do modelo de drenagem superficial, e os aspectos geomorfológicos;
- Bloco Diagrama: utilizados para a representação tridimensional do modelado do terreno. Este bloco diagrama é gerado apartir dos eixos X e Y que representam as colunas e linhas matriciais do arquivo digital.

Além dos produtos elaborados em função da fotografia aérea e da altimetria, foram apresentados outros produtos cedidos pela SEMA, reeditados e revisados pela equipe executora do trabalho no laboratório de Geoprocessamento do Curso de

Geografia da Universidade Tuiuti do Paraná, os quais contribuíram em análises e interpretações.

- Carta planialtimétrica, a qual caracteriza toda a realidade do terreno em suas formas planas e altimétricas;
- Carta de solo, o qual possibilita a análise de relação do tipo de solo com sua melhor competência de uso e atual utilização;
- Carta de geologia, demonstra a estrutura geológica da área, podendo analisar processos da presença ou falta de estabilidade ambiental.

Classificação dos dados: o inter-relacionamento e confrontação das informações de campo adquiridas, com aquelas existentes de bibliografias e a construção e análises dos produtos referentes a geotecnologia, houve uma integração de informações, obtendo análises e avaliações referentes ao Parque Estadual de Campinhos, estabelecendo uma metodologia de utilização para estudos referentes a sistemas ambientais.

4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

4.1 LOCALIZAÇÃO E ACESSO

A referida área de estudo, o Parque Estadual de Campinhos localiza-se nos Municípios de Tunas do Paraná e Cerro Azul no setor leste do Estado do Paraná, conforme observado na Figura 02

O parque criado no ano de 1960 sob o decreto nº 31013/60, apresenta uma área de 204,49 ha, contendo em seus limites: cavernas, dolinas, sumidouros, lagos, cobertura vegetal e edificações para atender a demanda turística e a manutenção do parque com alojamentos, centro de informações e churrasqueiras. Figura 03 (Carta Planialtimétrica).

O acesso ao Parque se faz pela rodovia federal BR 476 (Estrada da Ribeira).

FIGURA 02 – MAPA DE LOCALIZAÇÃO TERRITORIAL

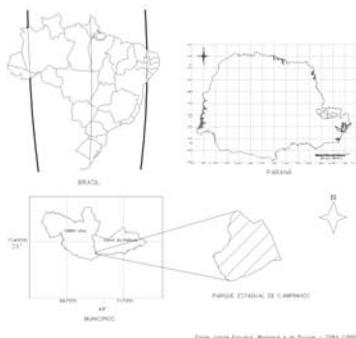
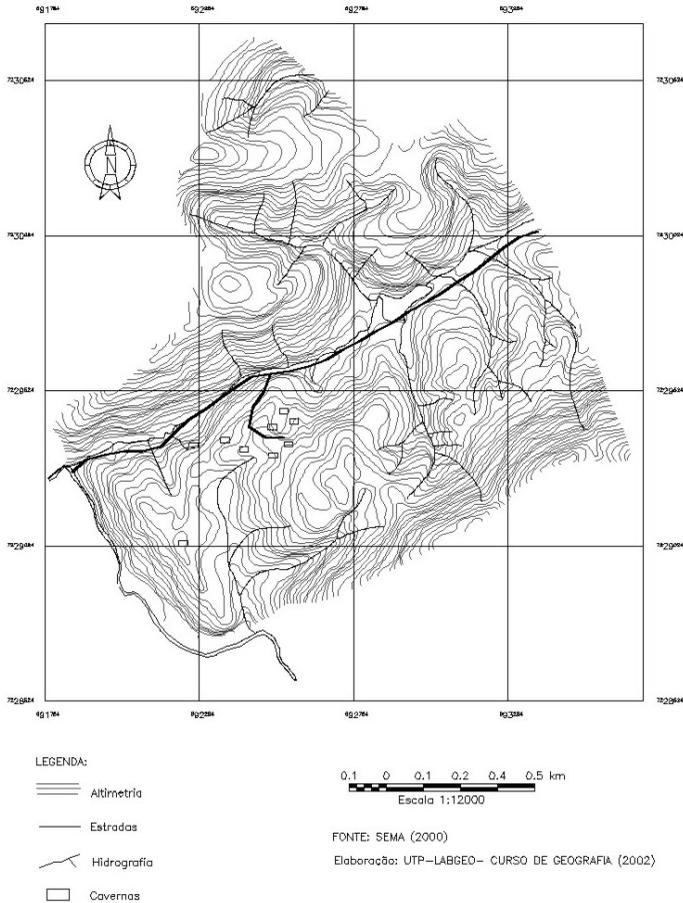


FIGURA 03 – CARTA PLANIALTIMÉTRICA



4.2 CONDIÇÕES DO MEIO FÍSICO-BIÓTICO

Em razão da área apresentar sua evolução da paisagem relacionada a ambientes cársticos, observa-se que os processos geomorfológicos e suas representatividades da modelagem estrutural do relevo, entre outros fatores está intimamente relacionado com a estrutura litológica da região.

Ocorre na região a associação de rochas metamórficas do Proterozóico, com a predominância de filitos, quartzitos e xistos que se destacam no relevo formando cristas mais elevadas e espigões alongados favorecendo ao desenvolvimento de um relevo acidentado, e os calcários fortemente dobrados que estão associados as áreas

mais rebaixadas da região e proporcionam através do intemperismo químico à formação de dolinas e cavernas, com estruturas internas diversificadas originando os espeleotemas através da dissolução carbonática dos calcários que são atacados pelo ácido carbônico presente no ciclo hidrológico. (Figuras 04 e 05 – Cartas Hipsométrica e Clinográfica)

FIGURA 04 – CARTA HIPSSOMÉTRICA

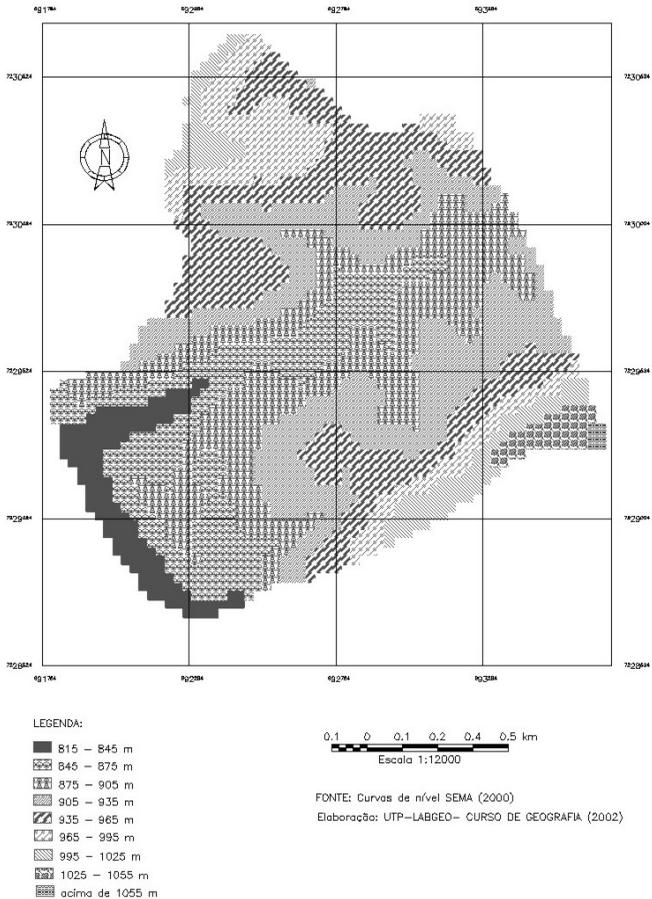
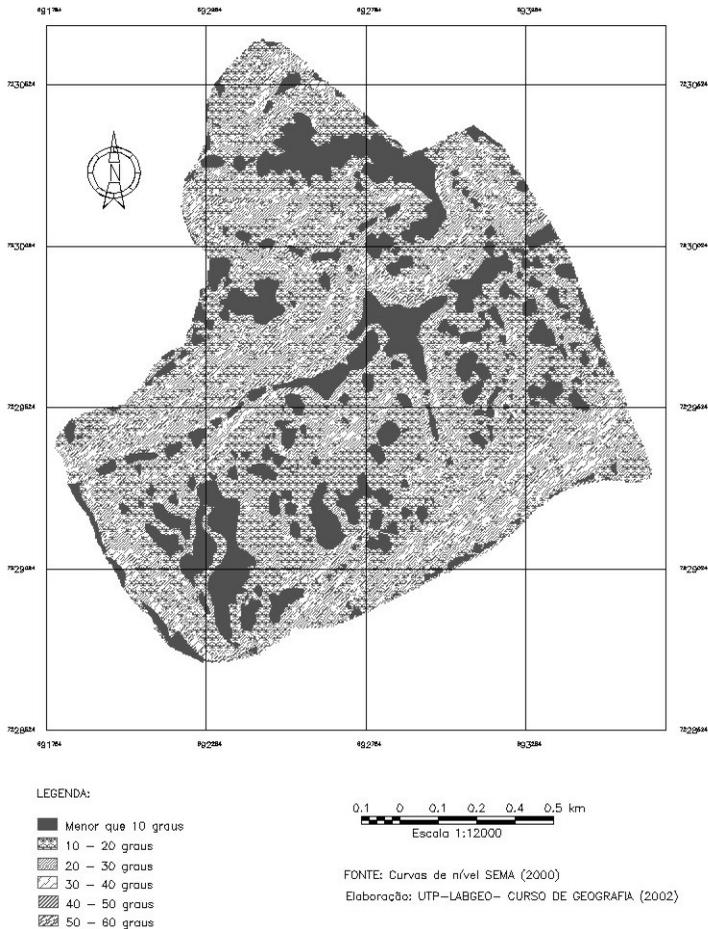


FIGURA 05 – CARTA CLINOGRÁFICA



A rede de drenagem está inserida na sub-bacia hidrográfica do rio Ribeira constituindo-se na área a micro bacia do rio Pulador, ambas tributárias da bacia hidrográfica do Atlântico ou do Leste no Estado do Paraná. Como característica a drenagem apresenta forma retangular imposta pelas características da estrutura geológica podendo ser direcional ou adaptada, com rios de até quarta ordem.

O desenvolvimento da cobertura pedológica, é resultado da associação dos fenômenos climáticos que atuam sobre o modelado do terreno atingindo o substrato geológico e ocasionam o intemperismo das rochas que constitui o material de origem dos solos que ocorrem na região, com a predominância dos Podzólicos e

Cambissolos, que apresentam restrições de aptidão para atividades agropecuárias pela baixa fertilidade e pelas condições pouco favoráveis do relevo.

A vegetação original é constituída pela Floresta Ombrófila Mista tendo como principal espécie representante desta formação florestal a *Araucaria angustifolia*. Atualmente a cobertura vegetal da área encontra-se em processos de reestruturação apresentando fases iniciais, intermediárias e avançadas de sucessão ecológica, com a presença de uma pequena área apresentando ainda características da vegetação primária, que contrasta com os reflorestamentos de *Pinus* nas regiões de adjacência do parque.

5. INTERPRETAÇÃO VISUAL

Além do avanço do sensoriamento remoto visto atualmente como ciência, ocorreu também o avanço da informática, criando programas adequados para se trabalhar com os produtos oriundos do sensoriamento. Estes novos programas são destinados para o processamento digital de imagens sejam elas orbitais ou fotográficas, o qual, auxilia no seu registro (georreferenciamento), nos trabalhos de realces, classificações, entre outros.

Existindo o processamento digital de imagem, ele auxilia na interpretação visual de uma determinada área, a qual pode ser observada segundo NOVO (1995, p.205), “quando os sinais detectados pelo sensor são transformados em uma imagem bidimensional da cena, dizemos que os sinais foram processados opticamente. O produto é uma imagem óptica, ou seja, uma imagem que pode ser visualizada e que, portanto, permite a extração de informações através de sua inspeção visual”.

Para realizar a inspeção visual, o profissional depende de vários parâmetros, mas, o principal sensor a ser utilizado é o olho humano, o qual conectado ao cérebro processa as diferentes informações obtidas sobre a imagem.

A interpretação visual ou foto-leitura é antes de tudo, o reconhecimento direto de objetos construídos ou modificados pelo homem, e de características naturais do terreno. Refere-se à visão vertical de edificações, agricultura, hidrografia, florestas, formas do relevo, entre outros. Normalmente este processo não envolve o uso do aparelho estereoscópio e por isso é considerada como a mais simples técnica de interpretação.

Nos primeiros estágios da interpretação, deve ser estabelecido o que é reconhecível e conhecido, por isso a importância de pesquisa de campo e observação do mapa ou cartas da região, antes de iniciar a interpretação das fotografias aéreas.

As informações diferenciadas em uma fotografia, são decorrentes das propriedades dos objetos como: forma, sombra, tamanho, textura, padrão, tonalidade e posição, NOVO (1995).

- forma: pode ser considerada como uma expressão topográfica ou de contornos, onde é possível verificar a presença de construções pois são formas retangulares

servidas por estradas ou caminhos; vegetação natural, que apresenta contorno irregular e de aspecto variável; cursos de água, caracterizados por marcas contínuas de trajetos irregulares e ondulantes; áreas cultivadas, pois se apresentam em contornos regulares; entre outros;

- sombra: ocorre quando um objeto se interpõe e impede que os raios de sol alcancem certas áreas e, em alguns casos facilita a interpretação, pois indica uma visão do perfil lateral do objeto, mas em outros dificulta a interpretação, uma vez que os objetos que ficam na sombra refletem pouca luz e não podem ser percebidos;
- tamanho: depende exclusivamente da escala da fotografia e torna possível a mensuração de qualquer objeto;
- textura: é a frequência de mudança de tonalidade dentro de uma imagem, que é produzida por um agregado de componentes muito pequenos que não podem ser distinguidos individualmente na fotografia;
- padrão: refere-se à forma ou à combinação de detalhes que são característicos de muitos grupos de objetos, tanto natural como construídos pelo homem. Entre os padrões a serem identificados estão os padrões de drenagem, padrões de vegetação, entre outros;
- tonalidade: é uma medida da qualidade relativa de luz refletida pelos objetos e uma fotografia pancromática, representa gradações de cinza absolutas entre o preto e o branco;
- posição: que refere-se a localização que é importante para interpretar modificações feitas pelo homem e de certas formações naturais.

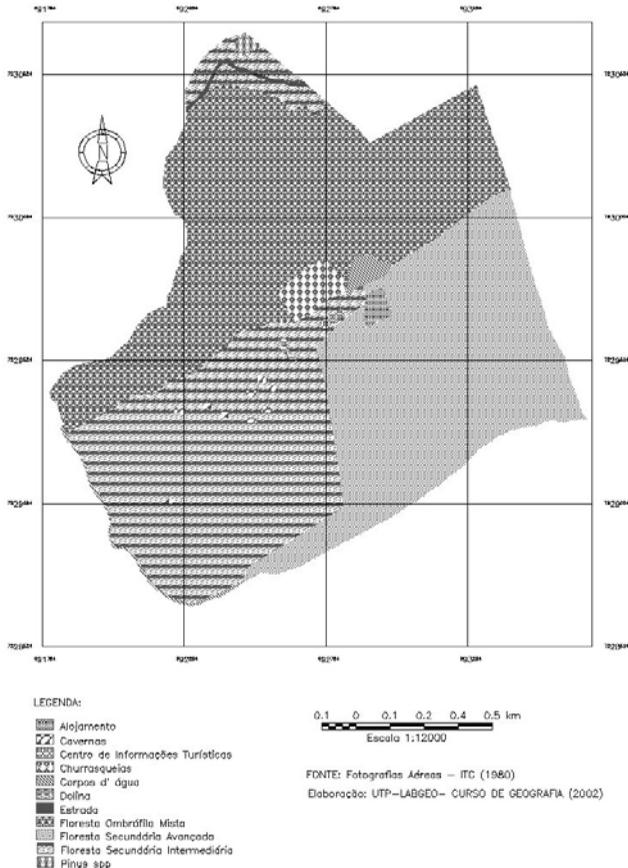
Ao analisar uma fotografia, requerer a detecção/identificação, as medidas e a solução de problemas, e esta deve conter condicionalmente três etapas, as quais correspondem à análise visual: NOVO (1995)

- Procedimentos, no qual deve haver teste de hipóteses, argumentação e convergência de evidência;
- Técnicas, contendo modelos de percepção, material colateral (literatura, medições de laboratório, chaves de interpretação, trabalho de campo), visão estereoscópica e método de busca;
- Elementos básicos, contendo tonalidades/cor (arranjos espaciais de ordem mais elevada), tamanho/forma (arranjos geométricos de tonalidade e cor), textura/padrão (arranjo espacial de tonalidade e cor), altura/sombra (interpretação baseada em elementos de ordem mais alta) e localização/associação (elementos locais).

Estes procedimentos podem ser utilizados para análise visual de uma imagem digital, podendo ser realizada sobre uma imagem orbital ou sobre uma imagem fotográfica estabelecida em razão da escala e objetivo do estudo, a qual apresenta-se em níveis de cinza.

A interpretação visual realizada para este trabalho, resultou em uma Carta de Uso e Cobertura do Solo a qual foi confeccionada através de fotografia aérea e de trabalho de campo para a atualização das informações, sendo obtido os seguintes temas: alojamento, cavernas, centro de informações turísticas, churrasqueiras, corpos d'água, dolina, estrada, Floresta Ombrófila Mista ocupando 37% de toda a área, Floresta Secundária Avançada com 31%, Floresta Secundária Intermediária com 30% e Pinus spp. (Figura 06 - Carta de Uso e Cobertura do Solo)

FIGURA 06 – CARTA DE USO E COBERTURA DO SOLO



Atualmente a área ocupada por Floresta Secundária Intermediária, foi interpretada na fotografia aérea de 1980, como área de Reflorestamento de Pinus, com o passar do tempo esta área deixou de ser explorada, ficando destinada ao processo de sucessão ecológico. Com a investigação de campo foi verificado que

esta área encontra-se com uma vegetação secundária que está se regenerando para mais tarde chegar a uma estabilização.

6. MODELO DIGITAL DO TERRENO

Um modelo digital de terreno - MDT (DTM = Digital Terrain Model) é uma representação matemática da distribuição espacial de uma determinada característica vinculada à uma superfície real. A superfície é em geral contínua e o fenômeno que representa pode ser variado. Dentre alguns usos do MDT pode-se citar (BURROUGH, 1986):

- Armazenamento de dados de altimetria para gerar mapas topográficos;
- Análises de corte-aterro para projeto de estradas e barragens;
- Elaboração de mapas de clinografia e exposição para apoio a análise de geomorfologia e erodibilidade;
- Análise de variáveis geofísicas e geoquímicas;
- Apresentação tridimensional (em combinação com outras variáveis).

Para a representação de uma superfície real no computador, é indispensável a elaboração e criação de um modelo digital, que pode estar representado por equações analíticas ou uma rede (grades regulares ou irregulares) de pontos, de modo a transmitir ao usuário as características espaciais do terreno.

A criação de um modelo digital de terreno corresponde a uma nova maneira de enfocar o problema da elaboração e implantação de projetos. A partir dos modelos (grades) pode-se calcular diretamente volumes, áreas, desenhar perfis e seções transversais, gerar imagens sombreadas ou em níveis de cinza, gerar mapas de declividade e aspecto, gerar fatiamentos nos intervalos desejados e perspectivas tridimensionais.

6.1 INTERPOLADOR INVERSO DA DISTÂNCIA ELEVADO A UMA POTÊNCIA

O método do inverso da distância elevado a uma potência é um método rápido para gerar uma grade de interpolação. Este método utiliza pesos na realização de uma interpolação, estes pesos podem ter um valor exato ou serem suavizados de acordo com cada ponto analisado, se este está perto ou distante do nodo que está sendo tomado como base.

O peso de um ponto interpolado é influenciado pelo ponto próximo dependendo da distância que este se encontra do nodo. Os pesos são alocados aos pontos de acordo com a distância que estes se encontram do nodo, quanto maior a distância menor a influência deste ponto na realização da interpolação.

A equação utilizada pelo método do inverso da distância elevado a uma potência é:

$$\hat{Z}_j = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{Z_i}{h_{ij}^\beta}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{h_{ij}^\beta}} \quad (01)$$

$$d_{ij} = \sqrt{d_{ij}^2 + \delta^2}$$

onde:

h_{ij} é a distância de separação efetiva entre o nodo da grade “j” e o ponto “i”;

\hat{Z}_j é o valor interpolado do nodo da grade “j”;

Z_i são os pontos ao redor do nodo;

d_{ij} é a distância entre o nodo da grade “j” e os pontos ao redor do nodo “i”;

β é a potência do peso (um parâmetro de potência), e;

δ é o parâmetro de suavização.

6.2 BLOCO DIAGRAMA

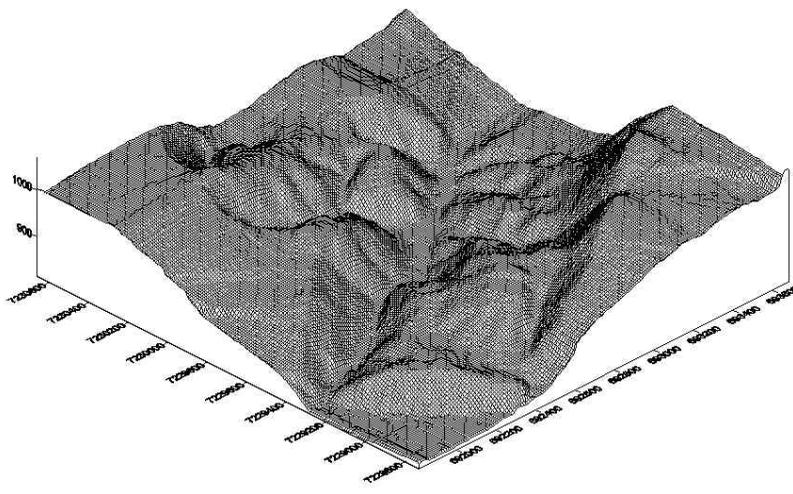
Os blocos diagramas são representações tridimensionais de uma grade de pontos, este bloco diagrama é gerado desenhando os eixos X e Y que representam as colunas e linhas de arquivo que gera a grade sendo ela regular ou irregular. Cada interseção de uma linha com uma coluna denomina-se de nodo, e está associada a este ponto uma altitude Z. (Figura 07 – Bloco Diagrama)

Os blocos diagramas podem ser visualizados a partir de dois tipos de projeções, a projeção perspectiva, e a projeção ortométrica. Na projeção perspectiva as linhas parecem estar distantes do observador dando desta maneira uma noção de profundidade, já na projeção ortométrica, as linhas são desenhadas paralelas.

Os componentes dos blocos diagramas são os seguintes:

- O eixo X representa as colunas do arquivo de pontos da grade, o número de linhas no eixo X é controlado pelo número de coluna deste arquivo;
- O eixo Y representa as linhas do arquivo de pontos da grade, analogamente é controlado pelo número de linhas do arquivo;
- O eixo Z são as curvas de nível da superfície do desenho, o número de linhas Z do bloco diagrama depende do valor máximo e mínimo das curvas de nível e de como é especificada a equidistância entre as curvas.

FIGURA 07 – BLOCO DIAGRAMA



Bloco Diagrama Camplinhoa

6.3 CARTA DE CURVAS DE NÍVEL

As isolinhas são curvas que unem entre si pontos da superfície que tenham o mesmo valor de altitude. O significado do valor da altitude depende da magnitude física da superfície que se pretende modelar. Assim para uma superfície que representa temperatura se obtém isotermas, para previsão atmosférica, as isóbaras; para altimetria do terreno, as curvas de níveis, etc.

As isolinhas podem ser visualizadas como sendo a projeção no plano (x, y) das interseções entre a superfície e uma família de planos horizontais equidistantes.

As curvas de isovalores possuem algumas propriedades importantes entre elas: todas são fechadas, a menos que interceptem as fronteiras de definição do mapa e nunca se cruzam.

Os *softwares* geram isolinhas ou curvas de isovalores a partir de um modelo digital de terreno (MDT) na forma de grade retangular ou triangular utilizando o método das células. Neste método, para cada célula são geradas todas as curvas de isovalor que interceptam esta célula. Os segmentos de reta são armazenados para, em uma fase final, serem ligados formando uma curva fechada de isovalor.

7. RESULTADOS E ANÁLISES

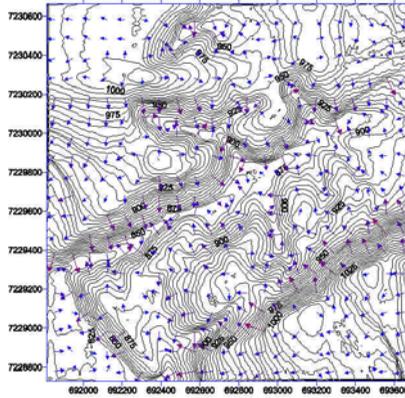
Em razão da integração das atividades de campo, escritório e laboratório é possível tecer algumas considerações analíticas a respeito do modelo ambiental pertinente aos limites do Parque Estadual de Campinhos e seu entorno, considerando a conexão dos elementos formadores do meio como agrupamentos semelhantes para a Região do Carste.

Os modelos temáticos desenvolvidos com o auxílio da geotecnologia representando o direcionamento e ocorrências das vertentes, Figura 08 (Carta Vetorial da Magnitude e Dimensão dos Fluxos das Vertentes) e da representação sombreada do relevo, Figura 09 (Carta do Relevo Sombreado), além de outros, se mostraram bastante eficientes na colaboração da compreensão da estrutura superficial do modelado terrestre do recorte espacial que associado aos trabalhos de campo e revisão literária possibilitaram à seguinte análise ambiental:

Observa-se que a área de um modo geral apresenta amplitudes altimétricas significativas, com variações entre 815 m, e com as cotas mais elevadas superiores a 1055 m ocasionando uma amplitude relativa de 240 m entre a cota mínima e a máxima. Associada a esta condição altimétrica estão graus diferenciados de inclinação das vertentes, que de um modo geral apresentam pendentes curtas e abruptas, principalmente no contato entre as cristas de filitos e filitos cataclásticos com as lentes de calcário, onde há uma amplitude de 20° a 40° graus de inclinação das vertentes, podendo em alguns casos exceder a 50° graus.

As condições do relevo estão impostas pela estrutura geológica que apresenta cristas de quartzitos que se destacam em altitudes mais elevadas com direcionamento SW-NE, formando espigões alongados, enquanto que os diques de diabásio desta região apresentam direções de SE-NW e representam cristas secundárias. Onde predominam as áreas com presença dos calcários formam as zonas deprimidas do relevo, característica atribuída pela facilidade do intemperismo a que estão sujeitas estas rochas. Toda esta litologia é trabalhada principalmente pela ação das condições climáticas que apresenta características de uma região úmida a superúmida, sem estações secas prevalecendo desta forma o intemperismo químico das rochas. Esta forma predominante de intemperismo está intimamente ligada a ocorrência e evolução dos ambientes cavernícolas com todas suas estruturas internas, além de estarem fortemente associados aos processos pedogenéticos onde predominam em extensão de área, os solos podzólicos ocupando mais da metade do recorte espacial que delimita o parque (aproximadamente, 53% da área do parque), e que devido a sua estrutura morfogênica são muito susceptíveis aos processos erosivos, aumentando em muito esta susceptibilidade quando associados a relevos acidentados como os que ocorrem na região.

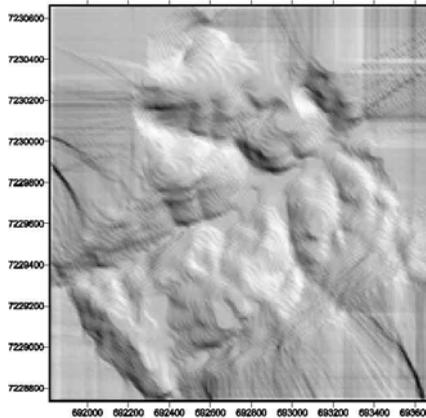
FIGURA 08 – CARTA VETORIAL DA MAGNITUDE E DIMENSÃO DOS FLUXOS DAS VERTENTES



Curvas de Nível eqüidistância 5m

Em razão da litologia associada ao relevo e as condições climáticas estabeleceu-se nesta área um modelo de drenagem que apresenta forma retangular, com caráter direcional ou adaptado com rios de primeira a quarta ordem. A disposição e modelo hídrico ocorrente em ambientes “kársticos”, são um dos principais fatores que contribuem para a formação dos dutos subterrâneos que constituem as galerias que se conectam com os salões que costumam ocorrer no interior das cavernas.

FIGURA 09 – RELEVO SOMBREADO



Relevo Sombreado Campinhos

É importante também que se perceba que a cobertura vegetal primária da área do parque já apresenta substituição, podendo-se observar na maior parte de sua área estágios ecológicos de reestruturação vegetal em níveis diferenciados com ciclos de sucessões iniciais (1º fase) até níveis mais evoluídos de capoeirão/floresta secundária (5º fase). O parque apresenta uma área florestada com *Araucaria angustifolia* e *Pinus spp.*, sendo que este último está presente de maneira significativa no entorno da área, caracterizando uma forma de exploração econômica pertinente à região.

Tais características de cobertura vegetal influenciam decididamente sobre os aspectos físicos observados na região e possibilitam a ocorrência e permanência da fauna, que por sua vez tem como um de seus papéis ecológicos, garantir a manutenção vegetal natural do parque através da distribuição e germinação das sementes. É fundamental que se perceba a importância da cobertura vegetal como um fator ecológico regulador e equalizador do equilíbrio deste meio, visto que as possibilidades de desestabilização, estão associadas neste caso principalmente às interferências de ordem humana que tendem para a artificialização da natureza interferindo no equilíbrio dinâmico deste geossistema, onde estas modificações se fazem perceber normalmente em primeira instância na qualidade da cobertura vegetal.

De um modo geral, pode-se considerar que a área do parque no que diz respeito à sua dinâmica ambiental apresenta-se como um sistema ambiental frágil, caso não se respeite suas características naturais. Esta fragilidade torna-se mais significativa em razão da mesma indicar através de suas estruturas ser uma região “kárstica”, que possui a evolução de sua paisagem de forma temporal gradativa e lenta, mas que no entanto pode ser dinamizada estas modificações em função da utilização deste espaço de forma desordenada e inadequada com suas competências, não respeitando seu limite de carga, podendo assim desestruturar num espaço curto de tempo o que a natureza levou milhões de anos para formar.

Desta forma evidencia-se a importância que representa estudos que procurem entender o funcionamento e integração dos elementos formadores deste complexo sistema ambiental, para que uma vez adquiridos conhecimentos sistêmicos deste diferenciados ambientes, haja a possibilidade de se contribuir com planos de manejo e gestão de tão importantes áreas que representam além de grande potencial turístico, verdadeiros laboratórios naturais para pesquisas e aprofundamentos científicos voltadas as Geociências.

8. CONCLUSÕES

A utilização da geotecnologia (Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto), apresentou-se como um instrumento de grande valia no desenvolvimento deste

estudo possibilitando a construção de produtos cartográficos de extrema importância e funcionalidade para as interpretações da dinâmica ambiental da região.

Aliada às técnicas matemáticas e computacionais, foi utilizado também informações obtidas em trabalhos de campo, com a função da verificação das compatibilidades entre os modelos digitais e eletrônicos com as realidades observadas *in loco*, conferindo confiabilidade para a integração dos resultados obtidos, na forma de produtos cartográficos (cartas temáticas), gráficos e tabelas.

A escolha do recorte espacial definido para a realização deste trabalho, justifica-se pela dinâmica natural que o mesmo apresenta e pela importância que representa, como potencial turístico podendo trazer aos municípios da região desenvolvimento ecologicamente correto se respeitada as características ambientais da área. E também pela riqueza espeleológica, que é uma fonte inesgotável de pesquisas científicas e por demonstrar-se apto a realização de programas de Educação Ambiental.

Por todas estas características que lhe conferem significativas importâncias, é representável que tanto a administração pública quando a sociedade civil sejam orientados para a conservação e proteção de tão importante patrimônio natural.

No entanto cabe salientar que as geotecnologias devem ser utilizadas como suporte para o desenvolvimento de análises, diagnósticos e prognósticos ambientais, sendo extremamente deficiente quando não associado às atividades cuidadosas de campo, de onde é possível extrair um conjunto de informações reais da natureza, mesmos quando estas sejam convencionadas pela abstração humana, mas que no entanto representam a realidade momentânea da sociedade humana.

9. REFERÊNCIAS

AYOADE, J. O. – Introdução a climatologia para os trópicos. – 5º ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998.

BOWKER, D. E.; DAVIS, R. E.; MYRICK, D. L.; STACY, K; JONES, W. T. Spectral Reflectances of Natural Targets for Use in Remote Sensing Studies. Hampton (NASA REFERENCE PUBLICATION 1139) 1985.

BURROUGHT; P. A.; MCDONNELL; R. A. Principles of Geographical Information System. Oxford University Press. New York, 1986

CROSTA, A. P. Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto. Instituto de Geociências, departamento de Metalogênese e Geoquímica. edição revisada. São Paulo: 1992.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. – Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Estado do Paraná. Rio de Janeiro: EMPRABA – SNLCS/SUDESUL/IAPAR, 1984.

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. – Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. Manual técnico da vegetação brasileira: série manuais técnicos em geociências. 1992. 92p. Rio de Janeiro, n.1, 1992.

LEITE, P.F.; KLEIN, R.M. Vegetação. In: Geografia do Brasil – Região Sul. Rio de Janeiro: IBGE. v.2, p.113-150, 419p. 1990.

MAACK, R. – Geografia Física do Estado do Paraná. – 2º ed. Rio de Janeiro: J. Olympio; Curitiba: Secretaria da Cultura e do Esporte do Governo do Estado do Paraná, 1981.

NOVO, E. M. L. M. Sensoriamento Remoto : Princípios e Aplicações. 2º edição. São Paulo: Editora Afiliada, 1995.

OLIVEIRA, L. M. – Guia de prevenção de acidentes geológicos urbanos. Curitiba: MINEROPAR, 1998.

ROCHA, C. H. B. Geoprocessamento: Tecnologia Transdisciplinar. Juiz de Fora, MG: Ed. do autor, 2000.

10. AGRADECIMENTOS

Os autores da pesquisa agradecem pela atenção e colaboração das seguintes instituições:

- GEOP – Grupo de Estudos Espeleológicos do Paraná – Açungui;
- IAP – Instituto Ambiental do Paraná;
- SEMA – Secretaria de Estado do Meio Ambiente;
- UTP – Universidade Tuiuti do Paraná, Curso de Geografia, Laboratório de Geoprocessamento (LABGEO) e Núcleo de Pesquisas em Geografia Aplicada (NPGA).

A CARTOGRAFIA COMO UM INSTRUMENTO PERCEPTIVO NO ENSINO FUNDAMENTAL

Paulo Roberto F. de Abreu¹
Prof^ª Dr^ª Andrea F.T. Carneiro²

Universidade Federal de Pernambuco – Programa de Pós-graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação
paija@ig.com.br¹ ; aftc@ufpe.br²

RESUMO

Entendendo a construção e a interpretação de mapas como atividades de comunicação, e que os mesmos possuem textos com códigos próprios cujas mensagens devem ser lidas e interpretadas, este trabalho visa avaliar a importância da Cartografia como uma didática perceptiva no ensino da Geografia. A partir de uma abordagem semiótica, busca-se a interação entre Cartografia e Geografia como forma de despertar uma percepção visual através dos signos cartográficos. Desta conotação, verifica-se que a Educação Cartográfica, que é um processo de construção de estruturas e conhecimentos favorecedores da leitura e interpretação de mapas, não é utilizada de forma correta nas escolas. Isto ocorre porque os conteúdos cartográficos desenvolvidos para serem ensinados aos adultos são repassados da mesma forma às crianças, sem nenhuma adequação para o entendimento infantil nas suas diversas faixas etárias. Inicialmente, procura-se resgatar a importância dos produtos cartográficos no ensino da Geografia. Em seguida, são avaliadas as formas como o professor de Geografia atua sobre a Cartografia. A partir da análise realizada neste estudo, conclui-se que o professor terá que possuir habilidades e sensibilidade no despertar das percepções, para o trabalho dos conteúdos cartográficos. Constatase que o ensino da Cartografia, como conteúdo da Geografia a nível de ensino Básico e Fundamental, é deveras importante no sentido de criar uma mentalidade cartográfica e conseqüentemente despertar a percepção espacial, proporcionando à criança o entendimento sobre o espaço físico que habita. Demonstra-se, ainda, com o presente trabalho, a necessidade de se investir no aprimoramento da formação do professor de Geografia, do ponto de vista da Educação Cartográfica, para que ele possa formar cidadãos capazes de interpretar os elementos visuais representados num produto cartográfico.

Palavras-chave: Educação Cartográfica; Analfabetismo Cartográfico; Ensino de Geografia.

ABSTRACT

Understanding the construction and the interpretation of maps as communication activities, and that the same ones possess texts with own codes whose messages should be read and interpreted, this work seeks to evaluate the importance of the Cartography as a perceptive didacticism in the teaching of the Geography. Starting from an approach semiotics, the interaction is looked for between Cartography and Geography as form of waking up a visual perception through the cartographic signs. Of this connotation, it is verified that the Cartographic Education, that it is a process of construction of structures and knowledge that allows the reading and interpretation of maps, it is not used in a correct way in the schools. This happens because the cartographic contents developed for they be taught to the adults are transmitted in the same way to the children, without any adaptation for the infantile understanding in your several age groups. Initially, it tries to rescue the importance of the cartographic products in the teaching of the Geography. Soon after, they are appraised the forms as the teacher of Geography it acts on the Cartography. One of the causes of the cartographic illiteracy in the schools is, without a doubt, the lack of the teacher's ability in working the cartographic contents, besides the inadequacy of the maps to the infantile understanding, above mentioned. So that he/she can obtain success in the teaching of the Cartography, the teacher should dominate concepts of the graphic semiology, of the cartographic communication and also of the cognitive theory. It is concluded that the teacher will have to possess abilities and sensibility in the awakening of the perceptions, for the work of the cartographic contents. It is verified that the teaching of the Cartography, as content of the Geography at level of Basic and Fundamental teaching, is really important in the sense of creating a cartographic mentality and consequetemente to wake up the space perception, providing to the child the understanding on the physical space that inhabits. It is demonstrated, still, with the present work, the need to invest in the aprimoramento of the teacher's of Geography formation, of the point of view of the Cartographic Education, so that he can form citizens capable to interpret the visual elements represented in a cartographic product.

Keywords: Cartographic Education; Cartographic Illiteracy; Infantile Cartography.

1. INTRODUÇÃO

A Cartografia é um instrumento de percepção visual rico em detalhes que mostra os entrelaces das relações espaciais de forma harmoniosa e contundente. A Geografia, por sua vez, tem por tarefa descrever, analisar e produzir os acontecimentos terrestres. Para exercer estas funções, o geógrafo precisa recorrer a representações da superfície terrestre em suas atividades.

Entendendo a construção e a interpretação de mapas como atividades de comunicação, e que os mesmos possuem textos com códigos próprios cujas mensagens devem ser lidas e interpretadas, este trabalho visa avaliar a importância da Cartografia como uma didática perceptiva no ensino da Geografia. A partir de uma abordagem semiótica, busca-se a interação entre Cartografia e Geografia como forma de despertar uma percepção visual através dos signos cartográficos. Desta conotação, verifica-se que a Educação Cartográfica, que é um processo de construção de estruturas e conhecimentos favorecedores da leitura e interpretação de mapas, não é utilizada de forma correta nas escolas. Isto ocorre porque os conteúdos cartográficos desenvolvidos para serem ensinados aos adultos são repassados da mesma forma às crianças, sem nenhuma adequação ao entendimento infantil nas suas diversas faixas etárias.

Os mapas são, em geral, idealizados para adultos, e representam generalizações da realidade, que implicam numa escala, projeção e simbologia que não têm significação nenhuma para os alunos.

Inicialmente, procura-se resgatar a importância dos produtos cartográficos no ensino da Geografia. Em seguida, são avaliadas as formas como o professor de Geografia atua sobre a Cartografia. No trato de questões sobre as diversas áreas do conhecimento, como a geologia, os climas, a pedologia, a vegetação, entre outras, o professor deve explorar estes assuntos buscando direcionar a atenção das crianças sobre a distribuição espacial dos fenômenos.

A percepção cartográfica é uma ferramenta que o professor deve praticar em sala de aula, a fim de explorar os sentimentos e o interesse dos alunos no trato das questões geográficas, principalmente as ambientais. A Cartografia Temática, portanto, é o elo de ligação do professor com a percepção, onde o trabalhador em educação deve buscar a essência na Cartografia para que seu trabalho em sala de aula seja promissor, e que tenha um feed-back satisfatório.

Para conseguir atingir este objetivo, a formação do professor, no que diz à Cartografia, deve ser aprimorada. Uma das causas do analfabetismo cartográfico nas escolas é, sem dúvida, a falta de habilidade do professor em trabalhar os conteúdos cartográficos, além da inadequação dos mapas ao entendimento infantil.

Para que possa obter sucesso no ensino da Cartografia, o professor deve dominar conceitos da semiologia gráfica, da comunicação cartográfica e também da teoria cognitiva.

Inicialmente, foram resgatados os conceitos e classificados os elementos da Educação Cartográfica. A seguir, verifica-se a importância das habilidades que o professor deve possuir. Tal abordagem focaliza a interpretação que os signos dos mapas podem fazer de seus elementos visuais, principalmente quando bem trabalhada em sala de aula.

Como foi definido, é de suma importância, que seja criada uma cultura cartográfica no ambiente escolar, que os cartógrafos e os geógrafos trabalhem, pesquisem, elaborem conteúdos e mapas para crianças, explorando signos de entendimentos. É desejável que a aparência visual dos componentes do mapa seja adequada ao uso e à categoria de usuário da aplicação.

A introdução dos Sistemas de Informações Geográficas – SIG no ambiente educacional representa uma excelente oportunidade para solidificar uma nova aplicação desse instrumento, a aplicação educacional, através do engajamento ativo de estudantes na realização de atividades de real significado para o aprendizado de conceitos geográficos. Com isso, pode-se desenvolver o pensamento crítico dos indivíduos, a partir de análise de informações geográficas computadorizadas, na investigação de acontecimentos do mundo, proporcionando a geração de conhecimentos através da pesquisa. Com o advento dessa tecnologia da informação, verifica-se atualmente a quase impossibilidade de vivenciar e trabalhar com essa tecnologia nas escolas públicas, principalmente em função da falta de equipamentos e qualificação do professorado.

A análise realizada neste estudo permitiu identificar falhas na forma com que os conteúdos cartográficos são trabalhados pelos professores, assim como a maneira inadequada da apresentação das informações dos mapas às crianças.

Conclui-se também que o professor terá que possuir habilidades e sensibilidade no despertar das percepções, para o trabalho dos conteúdos cartográficos. Constatase que o ensino da Cartografia, como conteúdo da Geografia a nível de ensino básico e fundamental, é deveras importante no sentido de criar uma mentalidade cartográfica e conseqüentemente despertar a percepção espacial, proporcionando à criança o entendimento sobre o espaço físico que habita.

Demonstra-se, ainda, com o presente trabalho, a necessidade de se investir no aprimoramento da formação do professor de Geografia, do ponto de vista da Educação Cartográfica, para que ele possa formar cidadãos capazes de interpretar os elementos visuais representados num produto cartográfico.

2. PRODUTO CARTOGRÁFICO – O MAPA

Conforme o Instituto Geográfico Nacional de Madrid (2002), *o mapa é definido como sendo um documento que transmite informações codificadas em forma de símbolos gráficos. Estes símbolos são pontos, linhas e superfícies que estão*

definidos tanto por sua localização no espaço com respeito a um sistema de coordenadas, como por alguns de seus atributos espaciais (nomes, classificações, cores).

Antes mesmo da invenção da escrita, a Cartografia já era conhecida. O ser humano se tem questionado, desde a Antigüidade sobre sua origem e seu destino: de onde viemos, para onde vamos e onde estamos. Foi o principal elemento usado pela humanidade na organização das ocupações dos espaços territoriais. Hoje está presente no cotidiano da sociedade, apresentando soluções para problemas urbanos, segurança, saúde pública, turismo, meio ambiente, navegação, entre outros.

A Cartografia é um misto de arte, ciência e tecnologia, responsável pela elaboração dos mapas onde são assentadas as informações geográficas e ou sócio-econômicas, bases sobre as quais podem ser tomadas decisões e planejadas soluções para os diversos problemas.

A Cartografia constrói seu produto conforme as necessidades exigidas e o entrega, por exemplo, na forma de mapas. O documento cartográfico é um instrumento capaz de representar em escala, com grau de exatidão requerido, informações geográficas quantitativas e temáticas, componentes necessárias ao planejamento.

Os mapas são representações gráficas do espaço, constituídos por três elementos básicos: escala, projeção e simbologia. Resultam de um conhecimento acumulado de informações e técnicas desenvolvidas por uma sociedade. Estão presentes em atlas, revistas, jornais e noticiários de televisão, gabinetes de políticos e empresários. São usados por urbanistas, economistas, engenheiros, militares e outros profissionais, sem esquecer dos turistas.

O desenho cartográfico trata de melhorar a expressividade das características gráficas dos elementos que compõem um mapa com o fim de otimizar o processo de visualização que transfere a informação do mapa ao consultor deos mesmos.

O paradigma comunicador do mapa defendido por KOLANCNY(1969), RATAJSKI(1973), MORRISON(1976) E SALICHTCHEV(1978) afirmava que o desenho teria como finalidade mostrar de forma visual mais claramente possível as características dos territórios representados no mapa.

A utilização dos mapas em sala de aula, não é tarefa fácil, tanto por parte dos alunos que interagem no processo de abstração, pois representam a realidade através de símbolos, como por parte dos professores, que devem ter habilidade, preparação na arte de trabalhar com os mapas em sala de aula.

Segundo CHORLEY & HAGGET (1995), *“A Cartografia, mais especificamente os mapas estabelecem pontes entre os níveis de observação e o teórico ”.*

Verifica-se, portanto, que para o trabalho conjunto com produtos cartográficos, são necessários os cuidados desde a fabricação do mapa, onde os cartógrafos, além de todos os cuidados preponderantes à sua elaboração, devem primar pelo despertar

de percepções, trabalhando os símbolos de representação, principalmente se a finalidade do mapa for didática. Nesse contexto, os que forem utilizar estes produtos na educação cartográfica devem possuir habilidades, conhecer os efeitos e a sensibilidade no despertar das percepções, no caso mais específico dos professores de Geografia, que devem direcionar suas atuações explorando os sentimentos.

2.1 A CARTOGRAFIA TEMÁTICA

Quando se adota um trabalho fundamentado na Cartografia Temática, como base principal na elaboração de um diagnóstico da área escolhida, ter-se-á um instrumento eficaz na avaliação, principalmente das questões ambientais.

Segundo MOURA (1993), “ *A Cartografia Temática apresenta-se como um instrumento de grande potencialidade na caracterização de valores e elementos na síntese de dados e na composição de perfis sobre os objetos analisados*”.

O interesse nos recursos da Cartografia Temática foi ampliado através da cartografia automatizada. A cartografia digital possibilitou o surgimento de novas metodologias para a construção de cartas temáticas.

Sobre a Cartografia Temática, OLIVEIRA (1988) relata: “ *O ramo da Cartografia Temática, trata temas ligados às diversas áreas do conhecimento. Os produtos gerados constituem documentos cartográficos em qualquer escala, onde sobre um fundo geográfico básico (extraído da carta topográfica) são representados os fenômenos geográficos, geológicos, demográficos, econômicos, agrícolas, etc., visando ao estudo, à análise e à pesquisa dos temas, no seu aspecto.*”

Ao tratar de temas sobre as diversas áreas do conhecimento, o professor de Geografia deve buscar, através dos mapas, direcionar a atenção das crianças para a compreensão da simbologia, que deve ser explorada com a substituição destes símbolos conforme o entendimento da classe. Após essa compreensão, o professor poderá então fazer a sua correlação com a simbologia oficial.

A percepção cartográfica é uma ferramenta que o professor deve praticar, a fim de explorar os sentimentos e o interesse dos alunos no trato das questões geográficas, principalmente as ambientais.

A Cartografia Temática, portanto, é o elo de ligação do professor com a percepção, onde o trabalhador em educação deve buscar a essência na Cartografia para que seu trabalho em sala de aula seja promissor, e que tenha um feed-back satisfatório. Para isso, o professor de Geografia deve ser capacitado, uma vez que uma das possíveis causas do analfabetismo cartográfico nas escolas é a falta de habilidade na exploração dos conteúdos cartográficos. O professor, para obter sucesso no ensino da cartografia, deve conhecer conceitos da semiologia gráfica, da comunicação cartográfica e da teoria cognitiva.

Segundo a professora ARCHELA (2003): *“A Teoria Cognitiva como método cartográfico envolve operações mentais lógicas como a comparação, análise, síntese, abstração, generalização e modelização cartográfica. Nesta corrente de pesquisa cartográfica, o mapa é considerado como uma fonte variável de informações, dependendo das características do usuário”*. Desenvolvida a partir da Psicologia, trouxe grandes avanços para a Cartografia, tanto no processo de mapeamento, em que o cartógrafo passou a ter uma preocupação maior com as características do usuário, como no processo de leitura, no qual o mapa passou a ser um instrumento para aquisição de novos conhecimentos sobre a realidade representada. Entre as principais contribuições estão os mapas mentais e a alfabetização cartográfica.

2.1.1 O Ensino da Cartografia na Geografia

A Geografia é um vasto conjunto de saberes que existe há séculos. Alguns destes saberes são representados através de documentos cartográficos, onde são representadas diferenças físicas e humanas. Através das cartas podem ser estabelecidas estratégias de ação.

A partir do século XIX, o estudo e a confecção de mapas foram dissociados da Geografia, recebendo a denominação de Cartografia. Nesse período, pesquisadores de diversas áreas (Ciências Humanas e da Terra) começaram a desenvolver cartas temáticas especializadas como geológicas, botânicas, entre outras.

Para OLIVEIRA (1988), *“A participação da Geografia na Cartografia não se restringe somente à elaboração de mapas temáticos. A carta topográfica oriunda de uma cobertura regular de fotografias aéreas é a base inequívoca do binômio Geografia- Cartografia”*.

Os produtos cartográficos facilitam o ensino da Geografia, uma vez que devem ser empregados como forma de despertar a sensibilidade dos aprendizes, como também daqueles a quem o produto seja de interesse. Os mapas são considerados, portanto, como modelos para o desenvolvimento do conhecimento geográfico.

Além da falta de habilidade, muitos professores de Geografia deparam-se com um sério problema: os mapas são, em geral, idealizados para adultos e não para crianças, ou seja, são generalizações da realidade que implicam numa escala, numa projeção e numa simbologia, os quais não tem significação nenhuma para os alunos. Daí a necessidade de se criar a disciplina Cartografia para Crianças nas faculdades e ou Universidades que formam professores de Geografia e História.

A Professora Lívia de Oliveira (1978), alertou para a necessidade do estabelecimento de uma metodologia que ajudasse o professor a ensinar o mapa e indicou a urgência de desenvolver uma cartografia para crianças.

3. AS NOVAS TECNOLOGIAS DA CARTOGRAFIA NO ENSINO DA GEOGRAFIA

Existe um paradigma que defende a Cartografia como ferramenta de comunicação, em que o cartógrafo extrai informação espacial do mundo real e constrói uma mensagem que envia por meio do desenho gráfico, o mapa.

Com o surgimento das novas tecnologias, como os Sistemas de Informações Geográficas-SIG e os visualizadores cartográficos, os mapas tendem a serem criados por usuários finais, por pessoas interessadas em interagir com os dados geográficos. O desenvolvimento da Tecnologia da Informação na década de 70, tem oferecido oportunidades de melhorias nos processos de tomada de decisões e resolução de problemas no domínio geo-espacial.

Segundo DAVIS & LAENDER (1999), “ *A representação de um objeto espacial não determina completamente sua aparência visual, ou seja, a forma segundo a qual o objeto será apresentado ao usuário, na tela ou no papel. A cada representação correspondem uma ou mais apresentações, alternativas de visualização adequadas para comunicar o significado dos dados geográficos de acordo com as necessidades de aplicação*”.

A informática tem prestado uma contribuição cada vez mais significativa no sentido de auxiliar na elaboração de mapas através da implantação de sistemas computacionais no cálculo, na restituição fotogramétrica e na eleição da base cartográfica.

A computação gráfica permitiu a substituição de um produto cartográfico tradicionalmente elaborado por um novo produto – o mapa digital, um conjunto de dados cartográficos armazenados em mídia magnética. Esse produto pode ser apresentado como mapa impresso e ser visível na tela do computador.

Os SIG's permitem realizar correlações entre temas, com rapidez e precisão, através da dinâmica espacial e da previsão de comportamento futuro, representando um importante instrumento de pesquisa e de auxílio na tomada de decisões.

O processo de reestruturação do ensino apresentada pelo MEC/1998 (Ministério de Educação e Cultura), visando qualificar as atividades escolares de ensino e a questão curricular, elaborou os Parâmetros Curriculares Nacionais -PCN (MEC, 1997). Nestes, sugere-se a utilização de novas tecnologias nas atividades de ensino. Apesar da necessidade de aplicação das tecnologias no ensino escolar, o processo de implantação é muito lento e complicado, principalmente na região Nordeste,

Para melhor compreender o espaço físico e transmitir aos alunos esta percepção, os professores necessitam receber atualizações através de cursos, entretanto estes enfrentam problemas com o desconhecimento da aplicação da informática no ensino.

Em grande parte das escolas públicas não há computadores disponíveis para alunos. Algumas escolas possuem computadores nas secretarias para uso burocrático. Além dessa condição, os professores geralmente não possuem computador em casa, daí existir uma enorme lacuna no processo de interação professor/informática.

A evolução tecnológica na Cartografia tem sido muito rápida. A cada dia surgem novos produtos cartográficos, jamais produzidos pelas idéias ou técnicas tradicionais. Os mapeamentos por computador e os sistemas de informações geográficas continuam explorando novos caminhos de aplicação com grande rapidez no processamento, na capacidade de armazenamento de dados, na flexibilidade de compilação e na visualização da informação. Essa rapidez amplia cada vez mais a distância entre a formação e atualização e o professor (em sua maioria, principalmente nas regiões de pouco recursos) torna-se um mero observador e não participante no processo tecnológico de ensino.

4. PRODUTOS CARTOGRÁFICOS COMO SISTEMA SEMIÓTICO NO ENSINO DA GEOGRAFIA

Conforme BERTIN (1967), o ponto inicial do seu trabalho é a afirmação geral de que *“A comunicação é feita por meio de marcas no papel”*. A apresentação de um dado ocorre através de variações ou modulações de características destas marcas, como sua forma, posição ou cor. Através deste raciocínio, surge a lista das variáveis visuais, tamanho, valor, tom, granulação, cor, orientação e formato, além da posição no plano bidimensional.

Um outro paradigma cartográfico, que é chamado de visualização cartográfica, amplia o tradicional papel dos mapas como meio de comunicação.

A Cartografia é um meio de expressão gráfica que ajuda a compreensão dos fenômenos georreferenciados. Assim, tanto o cartógrafo como o leitor de mapas devem realizar uma simplificação e desenvolverem um código de simbolização comum que garanta a comunicação.

A expressão gráfica tem que ser clara e precisa de forma que, sem sacrificar a precisão dos dados topográficos e com a ajuda de uma legenda explicativa, o leitor possa compreender e obter a informação que o mapa oferece. Este meio de expressão ajuda o leitor do mapa a observar primeiro os fenômenos mais importantes para descobrir logo a importância dos dados mediante o processo de classificação.

Para um melhor entendimento, a simplificação da leitura deve ser baseada em :

- Tornar a escala, a projeção, o método de análise dos dados, como um entendimento básico adequado à compreensão;

- Classificar as características que se vão representar, reunindo-as em grupos que apresentem características similares, diminuindo a complexidade e organizando as informações.

O processo da simbolização é um processo de abstração da realidade, e que também pode ser considerada como um processo de simplificação.

Segundo MOURA (1993), “ *Um mapa deve ser construído e não apenas desenhado, observando as propriedades inerentes à percepção visual*”.

Os mapas, portanto, devem ser expressivos, legíveis, apresentando simbologias que facilitem a expressão da informação. A informação deve ser trabalhada de forma padronizada na representação, pois dependendo da maneira como se apresenta determinada informação, a interpretação pode se dar de forma errônea, alterando assim a imagem do mundo real.

MULLER & ZESHEN (1990), ressaltam que “*a quantidade de informação proporcionada por um mapa irá depender da escolha de sua simbologia. A comunicação precisa de uma informação a qual levará o cartógrafo a ter consciência da reação perceptiva e mental, causada pela simbologia adotada, pois do contrário serão produzidos mapas ineficazes*”.

4.1 SISTEMAS DE SIGNOS NA COMUNICAÇÃO

Todo o processo de comunicação e a transferência de informação de uma pessoa a outra ou um grupo para outro, requer um tratamento especial. Para que a comunicação seja efetiva, é necessário:

- Ter emissor da informação.
- Ter uma mensagem.
- Ter um meio de comunicação.
- Ter um receptor.

Na Cartografia, é indispensável que haja um idioma comum, como:

- O emissor da informação – o cartógrafo.
- O conjunto de informações que se deve transmitir;
- O conjunto de símbolos gráficos que compõem o mapa;
- O receptor, o usuário do mapa.

PIERCE (1972), define Semiologia como sendo o estudo dos sistemas não verbais que tem a finalidade de suplementar a comunicação verbal ou exercê-la de modo independente. “ *Signo é entendido como sendo um objeto material chamado significante e que interessa não as suas propriedades materiais, mas como algo a que corresponde um investimento semântico, o significado*”.

Ainda de acordo com o autor citado, das relações entre os dois elementos, discernem-se três variedades fundamentais de signos. O ícone (signo no qual existe uma conexão de contiguidade de fato entre dois elementos), o índice (opera por uma conexão de contiguidade de fato entre dois elementos) e o símbolo (opera por uma

conexão estabelecida por uma regra convencional conhecida pelos usuários do símbolo).

Segundo MENEGUETTE (2001), “ *A semiótica está voltada para os signos da natureza, ao passo que a Semiologia o está para os signos da cultura*”.

Os trabalhos que mais se destacaram nesta corrente foram os de BERTIN(1967), que sistematizou a linguagem gráfica como um sistema de símbolos gráficos com significado e significante. Considerou como significado as relações entre os dados a serem representados. Estas relações podem ser de similaridade/diversidade, ordem ou de proporcionalidade e deverão ser transcritas no mapa através de variáveis visuais que representem exatamente as relações entre os dados que serão representados. Os significantes são as variáveis visuais, utilizadas para transcrever as relações entre os dados. As variáveis visuais são: tamanho, valor, textura, cor, orientação e forma. Dessa forma, toda informação deve ser transcrita visualmente. Para isto, é importante observar cuidadosamente as propriedades significativas das variáveis visuais para representar as informações no mapa.

4.2 A PERCEPÇÃO VISUAL

Em toda percepção existe um componente afetivo que contribui para a imagem representada. Algumas impressões podem ser captadas mais intensamente que outras, dependendo da atenção (interesse afetivo), dependendo da atitude pensada, do estado de ânimo e da situação emocional de quem percebe.

A seleção das impressões sensoriais apreendidas depende de uma série de processos ativos que transforma a percepção em uma função anímica por excelência.

No ato perceptivo, distinguem-se dois componentes fundamentais : a captação sensorial e a integração significativa. A integração significativa permite o conhecimento consciente do objeto captado. Portanto, as percepções serão subjetivas por existirem na consciência e objetivas pelo conteúdo que estimula a sensação.

Na comunicação por meio da Cartografia, o desenho cartográfico envia uma informação a uma localização espacial transcrita mediante símbolos gráficos ao espectador.

A percepção é o processo de apreensão da informação gráfica como a resposta mental resultante da imediata presença da informação gráfica. A percepção visual, portanto, é a detecção, por meio da visão, de um acontecimento com uma correta interpretação dos mesmos.

O reconhecimento é um termo que está intimamente ligado ao da percepção. Como exemplo, se em um mapa aparecem diversos símbolos que na legenda um deles se identifica como tundra, será um pouco difícil que haja uma idéia de como é a paisagem de tundra. Daí ser importante que o professor, no trabalho com mapas em sala de aula, não transmita as informações dos mapas diretamente aos alunos sem que haja um reconhecimento dos símbolos e das imagens às quais

correspondam cada símbolo. Deverá haver um reconhecimento prévio, uma visita a esse tipo de vegetação, se for o caso, ou uma outra informação visual como numa fotografia ou vídeo.

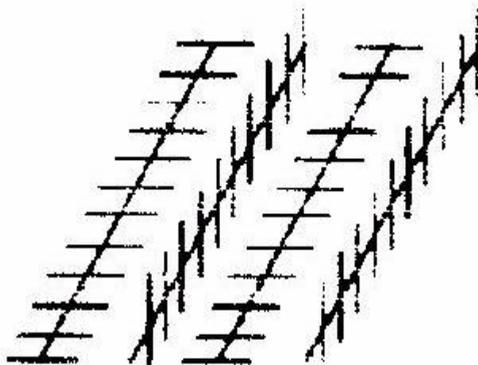
A utilização adequada dos mapas compõe-se de um conjunto de ações completas, que inclui a compreensão das interrelações entre os elementos representados em um mapa, no intuito de compreender a área de representação, bem como as características dos fenômenos cartografados.

Para o conhecimento consciente do objeto captado, tem que haver uma certa preocupação em não levar para sala de aula objetos com uma dupla percepção visual.

4.2.1 Contrastes Perceptivos

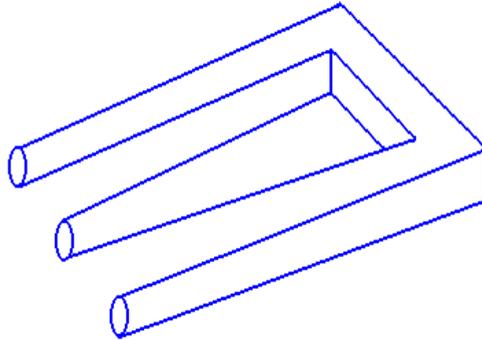
A **constância perceptiva** corresponde às propriedades dos objetos que permanecem sem variação para nossa percepção ante vários estímulos que se tem presentes. Como exemplo vamos ter constâncias de forma, de tamanho, de brilho e de tom. Contrariamente ao que ocorre com a constância perceptiva, os **contrastes perceptivos** correspondem às trocas perceptivas que ocorrem na visualização.

FIGURA 1 – LINHAS PARALELAS



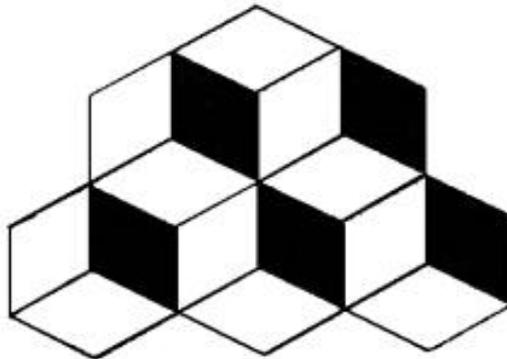
Na figura 1, as linhas são paralelas, no entanto as diagonais fornecem a impressão de que as linhas se curvam e se aproximam.

FIGURA 2 - TRIDENTE



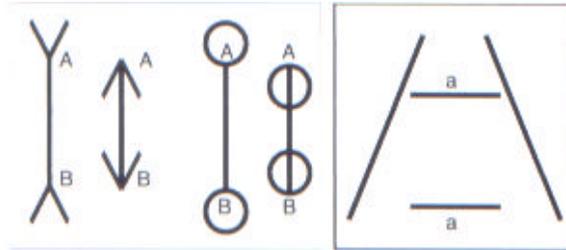
O tridente representado na figura 2, que tem a forma tridimensional, aparenta ser bidimensional, devido a ilusão causada pelo desenho.

FIGURA 3 - CUBOS



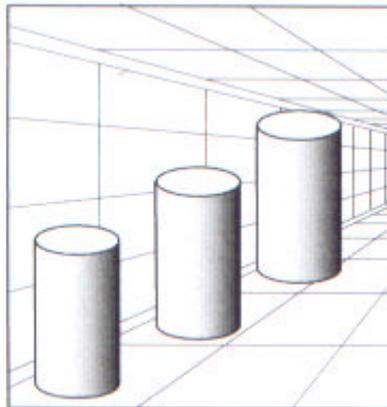
Na figura 3 estão três cubos. Mas ao olhar o desenho, tem-se a ilusão de ver cinco cubos.

FIGURA 4 – CONTRASTE DE TAMANHO



O tamanho de AB é igual em cada desenho representado na figura 4. No desenho da direita, o tamanho de (a) é igual nas linhas paralelas.

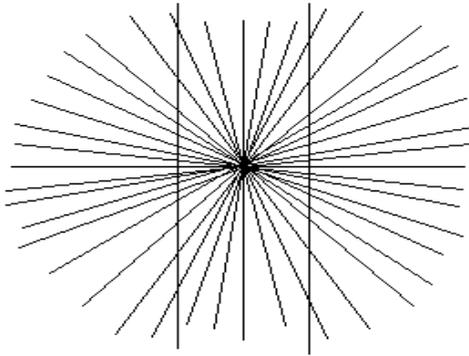
FIGURA 5 – CONTRASTE DE TAMANHO



O contraste perceptivo de tamanho (figura 5), ocorre com muita frequência, principalmente nos livros didáticos. O professor, portanto, deverá estar atento para que seus alunos, ao entrarem em contato com as informações, não obtenham dúbias informações, cujas consequências irão refutar na leitura de uma informação alterada.

O tamanho é a variável visual que de imediato se tem uma percepção alterada da realidade, pelo contraste perceptivo. Essa alteração acarreta inúmeras ilusões óticas, colocando em destaque uma debilidade no entendimento das crianças.

FIGURA 6 – CONTRASTE DA FORMA



As duas linhas verticais representadas na figura 6 são retas?

Sim. As linhas que saem do centro tiram esta impressão, fazendo com que elas pareçam curvas.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho visa contribuir para o entendimento da importância das representações visuais da Cartografia, apresentados na seção 4, para o ensino da Geografia.

Tal abordagem focaliza a interpretação que os signos dos mapas podem fazer de seus elementos visuais; principalmente quando bem trabalhado em sala de aula.

Como foi definido, é de suma importância que seja criada uma cultura cartográfica no ambiente escolar, de forma que os cartógrafos e os geógrafos trabalhem, pesquisem, elaborem conteúdos e mapas para crianças, explorando signos de entendimentos, e não utilizem mapas e conteúdos de adultos, onde os signos são de difícil interpretação e assimilação. É desejável que a aparência visual dos componentes do mapa seja adequada ao uso e à categoria de usuário da aplicação.

A introdução do SIG no ambiente educacional representa uma excelente oportunidade para solidificar uma nova aplicação de SIG, a aplicação educacional, através do engajamento ativo de estudantes na realização de atividades de real significado para o aprendizado de conceitos geográficos. O objetivo é desenvolver o pensamento crítico dos indivíduos, a partir de análise de informações geográficas computadorizadas, na investigação de acontecimentos do mundo, proporcionando a geração de conhecimento através da pesquisa.

Apesar do advento dessa tecnologia da informação, verifica-se a quase impossibilidade de vivenciar e trabalhar com essa tecnologia nas escolas públicas, tanto em função da carência de equipamentos e de treinamento dos professores, com respeito aos conteúdos cartográficos.

Constata-se que o ensino da Cartografia, como conteúdo da Geografia a nível de ensino fundamental e médio, é deveras importante, no sentido de criar uma mentalidade cartográfica e conseqüentemente despertar a percepção espacial, ampliando o conhecimento da criança sobre o espaço físico que habita.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARCHELA, Rosely S. **Imagem e Representação Gráfica**. Disponível em <http://www.uel.br/projeto/cartografia/artigo02.html>. Acesso em 06.11.2002.

ARCHELA, Rosely S. **Correntes de Cartografia Teórica e seus reflexos na pesquisa brasileira**. Disponível em <http://www.uel.br/projeto/cartografia>. Acesso em 20.02.2003.

BARBOSA, C.C. at.all. **Integração de objetos e Campos Geográficos em uma álgebra de mapas**. Disponível em http://www.dpi.inpe.br/geopro/trabalhos/gisbrasil99/algebra_mapas/. Acesso em 12.11.2002.

BERTIN, Jaques. *Semiologie Graphique : Lês diagrammes, lês reseaux, lês carte* : Gaurhiers Villars. Paris. 1967.

BOARD, Christopher. Os Mapas como modelos. In: *Modelos físicos e de informação em Geografia*. : USP e Livros Técnicos e Científicos. Rio de Janeiro. 1975.

CHORLEY, R. & HAGGETT, P.. *Modelos Sócio Econômicos em Geografia*. : Livros Técnicos Científicos. EDUSP. SP. 1995.

HARVEY, David. *Explanation in Geography*: St.Martin's Press. New York. 1969.

INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL DE MADRI. Disponível em <http://www.oan.es/sedes/ign.html>

JOLY, Fernand. *A Cartografia* : Papirus . SP.1990.

KOLACKNY, A. *Cartographic Information: A fundamental concept and term in*

modern Cartography. The Cartography Journal. 1969.

LAWRENCE, G.R.P. CARTOGRAPHIC METHODS: THE FEELD OF GEOGRAPHY: Great Britain by Butler & Tannner LTD. London. 1971.

LOBO, M.L.C. Introdução da Cultura de Geoprocessamento: A proposta do CIEG. In Simpósio Internacional sobre nobas tecnologias digitais em Geografia e Cartografia: Geo Digital-96 Anais. SP. P.108-113. 1996.

LUCIA, Santaela. O que é Semiótica: Brasiliense. SP. 1988.

MANTOVANI, Angélica C.Di Maio. Reflexões sobre o Ensino da Cartografia Temática na Geografia. Universidade do Vale do Paraíba. SP. 2000.

MARTINNELLI, M. A Cartografia da Geografia: Um Processo de Comunicação com a linguagem Gráfica, visual. In: VI Encontro Nacional de Geógrafos. Campo Grande.MS. 1986.

MARTINNELLI, M.. Orientação Semiológica para as representações da Geografia: Mapas e Diagramas: Orientação n° 08.p.53-69. USP. 1990.

MENEGUETTE, A. A . C. **Teoria dos Signos.** Disponível em http://www.prudente.unesp.br/decatog/arlete/hp_arlete/courseware/tsignos.htm Acesso em 10.12.2002.

MORRISON , J. L. The sciense of cartography and its essencial processes. International yearbook of cartography. Chicago. 1976.

MOURA, Ana Clara Mourão. O papel da Cartografia nas Análises urbanas, tendências no urbanismo pós-moderno: Caderno de Arquitetura Urbana n° 02 p.41-73.1993.

MÜLLER, J. C. & ZESHEN, Wang. A Knowledge based system for Cartographic symbol design. The Cartographic Journal. The Netherlands. 1990.

OLIVEIRA, Cêurio. Curso de Cartografia Moderna: IBGE. 1988.

OLIVEIRA, Livia de . Estudo Metodológico e Cognitivo do mapa: USP. 1978.

OTL, Aicher & KROMPEN, Martin. Sistemas de Signos em la comunicacón visual: Ediciones G.Gili. México. 1995.

PARÂMETROS CURRICULARES NACIONAIS: HISTÓRIA E GEOGRAFIA. Secretaria de Educação Fundametal. Brasília MEC/SEF.1997.

PEIRCE, Charles S. Semiótica e Filosofia, textos selecionados: Cultrix . 1972.

QUEIROZ, D.R.E. **A linguagem Gráfica e a Eficácia da Imagem**. Disponível em <http://www.Meus20%documentos/A%20LINGUAGEM%20GRÔFICA%20E%20%20EFI>. Acesso em 12.11.2002.

RATAJSKI, L. The reseach struture of theoretical cartography. En L.Guelke (Ed.) Monograph nº 19 . Cartographica. 1973.

RUFFINO, Sandra F. & SALVADOR, André. **O uso de mapas**. Disponível em <http://www.educar.scuspbr/maomassa/introducto.html>. Acesso em 12.02.2003.

SALICHTCHEV, K. A. Cartographic Communication : Its place in the theory of sciense. The Canadian Cartographer. 1978.

SANCHES, Miguel C.. Conteúdo e eficácia da Imagem gráfica. In: Boletim de Geografia Teorética. Rio Claro, V 11 nº 22, p.74-81. 1981

MAPEAMENTO PARA A CRIAÇÃO DE RPPNS NO HABITAT DO MICO-LEÃO-DOURADO (*LEONTOPITHECUS ROSALIA*)

Fabiano Godoy*
Leonardo Barros Ventorin*
Rosan Valter Fernandes*

* Associação Mico-Leão-Dourado - www.micoleao.org.br

RESUMO

Com o presente artigo demonstra-se o uso de geotecnologias na preservação da Mata Atlântica e de sua biodiversidade, com enfoque no mico-leão-dourado. Esta espécie - endêmica da baixada litorânea do estado do Rio de Janeiro, sofre com a escassez de seu habitat, reduzido a fragmentos florestais isolados em meio a áreas agrícolas e pastoris, com rodovias, ferrovias e áreas urbanizadas. Criada para salvar a espécie e seu habitat e garantir o desenvolvimento sustentável, a Associação Mico-Leão-Dourado (AMLD) desenvolve uma série de ações dentre pesquisas, manejo da espécie e do habitat e programas de políticas públicas. Visando a proteção legal dos remanescentes florestais da área do mico-leão-dourado, a AMLD mantém o Programa de Incentivo a RPPNs - Reservas Particulares do Patrimônio Natural, que apóia a criação destas Unidades. Uma das maiores dificuldades verificadas desde a criação deste programa, em 1994, é ausência de plantas atualizadas das fazendas, delimitando os limites da propriedade e a área onde será gravada a reserva, que é um dos documentos exigidos para a criação de RPPN. Para resolver esta questão a AMLD tem gerado plantas de localização e situação das propriedades, através do levantamento dos limites de propriedades rurais com o uso de GPS e utilizando um sistema de informações geográficas (SIG). Com este Programa foram apoiadas, até o momento, a criação de onze RPPNs na região e uma lista de vinte processos de criação junto ao IBAMA. Estes resultados sinalizam para um futuro promissor para o mico-leão-dourado, a Mata Atlântica e para a garantia da manutenção de todos os benefícios proporcionados por este ecossistema para esta e as futuras gerações.

Palavras chaves: Mata Atlântica; RPPNs; SIG.

ABSTRACT

The golden lion tamarin is endemic of the lowland Atlantic Forest of Rio de Janeiro State. *L. rosalia* is restricted to six municipalities and its habitat is highly fragmented due the deforestation for lumber extraction, agriculture and charcoal production. Currently we are using geotechnology tools for the conservation of the Atlantic Forest and its biodiversity, focusing on the Golden Lion Tamarin. The Golden Lion Tamarin Association (AMLD), a Brazilian non-governmental organization, coordinates a multidisciplinary program to conserve a viable population of golden lion tamarins in their natural habitat - the lowland Atlantic Coastal Forest of Rio de Janeiro State, Brazil. Since 1994, in collaboration of the agricultural owners, the AMLD is supporting the creation of RPPNs in the GLT distribution area through its "Management and Conservation of Private Areas Program". One of the biggest difficulties verified since the creation of this program is the absence of properties plants, delimiting their limits and the forest areas that will be registered as a private reserve (RPPN). This is one of the documents requested for the creation of the RPPN. Then, the AMLD has been using tools as GPS and the geographic information system (GIS) for mapping the properties and produce the RPPNs plants. Currently this Program supported the creation of 11 RPPNs in this region, transforming Silva Jardim into the municipality with the largest number of RPPNs in the Rio de Janeiro State. Also, there is a list of 20 process of RPPNs creation on IBAMA. These results has been assuring legal protection of the remnant forest tracks of the region, contributing for the conservation of the golden lion tamarin and the biodiversity of the lowland Atlantic Forest.

Keywords: Atlantic forest; HNPRs; GIS

1. INTRODUÇÃO

A peculiar Mata Atlântica é extremamente rica em biodiversidade. Este ecossistema é recordista mundial em diversidades, por exemplo, de plantas lenhosas e em número de espécies endêmicas – ela abriga cerca de 95 de um total de 269 espécies de mamíferos, 260 das 372 espécies de anfíbios e 60 das 197 espécies de répteis.

Toda esta riqueza encontra-se fortemente ameaçada. A exploração madeireira, a caça e o comércio ilegal de animais, o desenvolvimento urbano e industrial desordenado e a expansão das atividades agropecuárias sem planejamento

são fatores responsáveis pela fragmentação e redução deste bioma, que chega a 8% da área original da Mata Atlântica.

A situação é agravada pelo fato da região da Mata Atlântica sediar tanto os centros urbanos mais povoados como os grandes centros industriais e de silvicultura do país – atualmente vivem na Mata Atlântica aproximadamente 70% da população brasileira, ou 120 milhões de pessoas.

Uma das espécies endêmicas e ameaçadas de extinção, desse ecossistema, é o mico-leão-dourado, que ocorre somente em sete municípios da baixada litorânea do estado do Rio de Janeiro: Silva Jardim, Casimiro de Abreu, Rio Bonito, Rio das Ostras, Búzios, Cabo Frio e Saquarema . Um dos problemas, que ainda ameaçam a sobrevivência do mico-leão-dourado, é a falta de habitat, ou seja, a falta de florestas apropriadas à sua forma de vida.

FIGURA 01 - ÁREA DE ATUAÇÃO DA AMLD



Através de estudos conduzidos por pesquisadores da Associação Mico-Leão-Dourado (AMLD), cuja missão é promover a conservação da biodiversidade da Mata Atlântica com ênfase no mico-leão-dourado, estimou-se que para garantir a sobrevivência da espécie, deve haver uma população mínima de **2.000 micos-leões-dourados, vivendo livres em 25 mil hectares de florestas protegidas por lei, até o ano de 2025.**

As unidades de conservação públicas destinadas à sobrevivência da espécie somam 9.500 ha, sendo a Reserva Biológica de Poço das Antas com 6.300 e Reserva Biológica União com 3.200 ha. Para se atingir a soma de 25.000 hectares de florestas protegidos, são necessários mais 15.500 hectares de florestas, os quais estão em propriedades particulares.

Visando garantir a proteção do habitat do mico-leão-dourado: a Mata Atlântica da baixada costeira fluminense, desde 1994, a AMLD desenvolve um programa de incentivo a criação de RPPN – que são áreas protegidas, instituídas em propriedades de domínio privado por iniciativa de seus proprietários, mediante ato de reconhecimento do Poder Público, por serem consideradas de relevante importância para a proteção de biodiversidade, mesmo que, embora degradadas, possuam características que justifiquem ações de recuperação de modo a promover a conservação de seu ecossistema, ou também por apresentarem atributos de caráter paisagístico que mereçam preservação.

2. A CRIAÇÃO DE RPPNS

Como parte da estratégia deste Programa, a AMLD busca a conquista de potenciais donos de RPPN e desenvolve parcerias com o IBAMA, o WWF – Fundo Mundial para a Natureza / Brasil, a APN - Associação do Patrimônio Natural - que congrega os proprietários de RPPNs do Estado do Rio de Janeiro - e a Prefeitura de Silva Jardim.

Com isso há o levantamento de propriedades rurais propensas à criação de RPPNs; visitas a estas propriedades para reconhecimento e esclarecimentos sobre os conceitos da RPPN e seu processo de criação. Também há a formação de agentes multiplicadores entre os donos de RPPNs, que disseminam a idéia entre outros proprietários, colaborando diretamente para aumentar o número de RPPNs e a área total protegida.

Como forma de apoio ao Programa, a AMLD conta com ferramentas e mecanismos que asseguram o sucesso deste trabalho:

- Abordagem do Decreto no. 98.914/90, modificado pelo Decreto no. 1.922/96 (RPPN);
- SNUC - Sistema Nacional de Unidades de Conservação – Lei 9.985/00;
- Informativos sobre RPPN produzidos pelo IBAMA e pelo WWF;
- Uso de SIG (Sistema de Informações Geográficas) para elaboração de plantas de situação da propriedade e área de floresta (de interesse); e
- Apoio a agentes multiplicadores da idéia.

Para garantir agilidade na preparação da documentação necessária para se criar RPPNs, a AMLD tem produzido, através de seu Laboratório de Geoprocessamento (LABGEO), a planta de situação e de localização das propriedades interessadas. Essa iniciativa é inédita entre as instituições que apóiam a criação de RPPNs e tem facilitado sobremaneira, o encaminhamento de novos processos junto ao IBAMA. Isso possibilitou um arranque no número de futuras RPPNs na região.

Este trabalho também tem sido grandemente favorecido pela parceria firmada com a APN, que tem incentivado muitos proprietários a criar Reservas Particulares na região. Como personificação desta parceria, figura a sra. Deise Moreira Paulo, presidente da APN, que no papel de proprietária de duas RPPNs em Silva Jardim, tem diálogo direto junto a demais proprietários rurais do município, colaborando na formação de uma nova mentalidade e na busca pela preservação da Mata Atlântica.

Para se ter uma área particular gravada como reserva é necessário seguir formalidades descritas no Decreto Nº. 1.922/96 que dispõe sobre o reconhecimento das RPPNs:

“Art. 5º - O Proprietário interessado em ter reconhecido seu imóvel, integral ou parcialmente, como RPPN, deverá requerer junto à Superintendência do IBAMA na Unidade da Federação onde estiver situado o imóvel ou junto ao Órgão Estadual do Meio Ambiente-OMEA, acompanhado de cópias autenticadas dos seguintes documentos:

I - título de domínio, com matrícula no cartório de registro de imóveis competente;

II - cédula de identidade do proprietário, quando se tratar de pessoa física;

III - ato de designação de representante quando se tratar de pessoa jurídica;

IV - quitação do Imposto sobre a Propriedade Territorial Rural - ITR;

V - plantas de situação indicando os limites, os confrontantes, a área a ser reconhecida e a localização da propriedade no município ou região.

3.ELABORANDO MAPAS

Para agilizar o levantamento das áreas, o LABGEO utiliza o sistema GPS associado ao sensoriamento remoto e softwares de SIG. Atualmente dispomos de imagens LANDSAT, IKONOS e também fotos aéreas, os softwares utilizados são: GPS Trackmaker, Arcview e o ENVI e o GPS é o 76 da Garmin.

O primeiro passo do trabalho é selecionar propriedades potenciais para a criação de RPPN. Feito a seleção, é agendada uma visita ao proprietário rural, neste primeiro contato os técnicos da AMLD divulgam aos proprietários a importância de se criar uma reserva e esclarecem as dúvidas que venham a surgir, fazendo despertar no proprietário o interesse de se criar uma RPPN.

Com o sinal verde do proprietário, é feito um levantamento de todas as informações e documentos da propriedade (Registro, Escritura, Planta, etc). Estes documentos são avaliados pelo técnico para verificar a coerência dos mesmos e também planejar o mapeamento em campo. O mapeamento da propriedade e da área destinada à reserva é feito por caminhamento utilizando o GPS, para evitar erros de limites e rumos é solicitado ao proprietário que faça o caminhamento juntamente com o técnico ou que o mesmo indique uma pessoa da sua confiança.

Após o levantamento, os pontos são descarregados no computador e dar-se início a elaboração dos mapas no laboratório. Nesta fase o técnico consorcia todas as informações disponíveis, imagens, escritura, plantas, pontos naturais e pontos georreferenciados. Com este consorcio de informações é possível eliminar parcialmente os erros acarretados pelo levantamento efetuado por GPS de navegação.

Este método de levantamento não dá legitimidade à propriedade, por exemplo em um processo de desmembramento, mas é o suficiente para demonstrar áreas de matas para a criação de reservas, desde que mantenha completa conformidade com o registro da propriedade.

FIGURA 02 - MAPA DE LOCALIZAÇÃO DO MUNICÍPIO

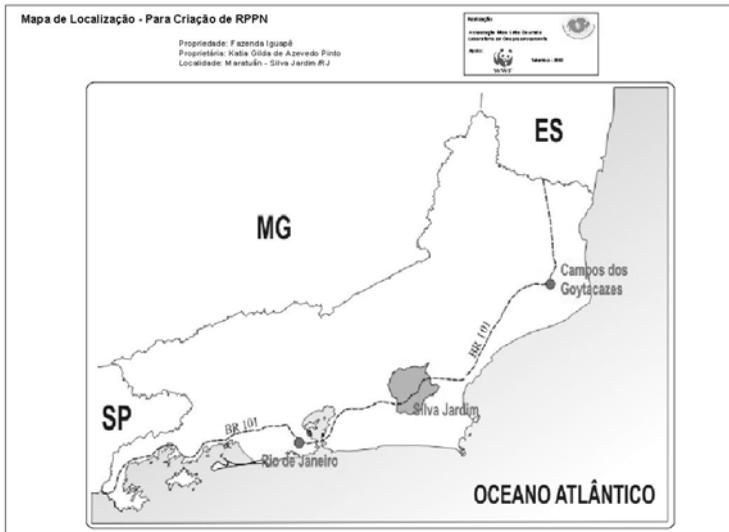


FIGURA 03 - MAPA DE LOCALIÇÃO NO MUNICÍPIO

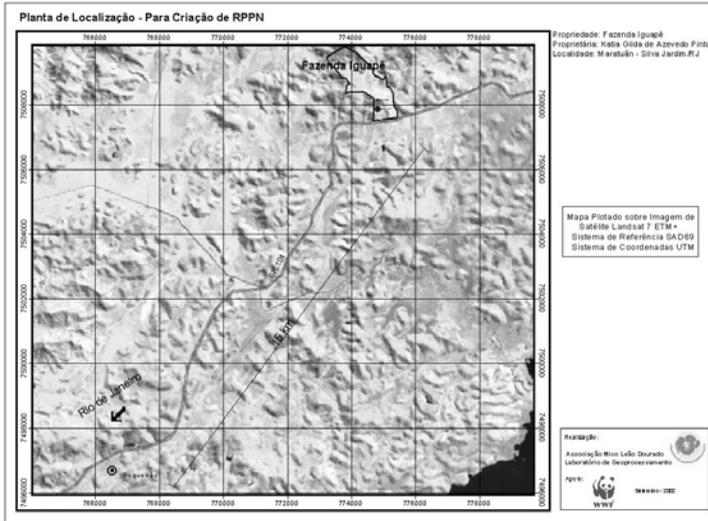
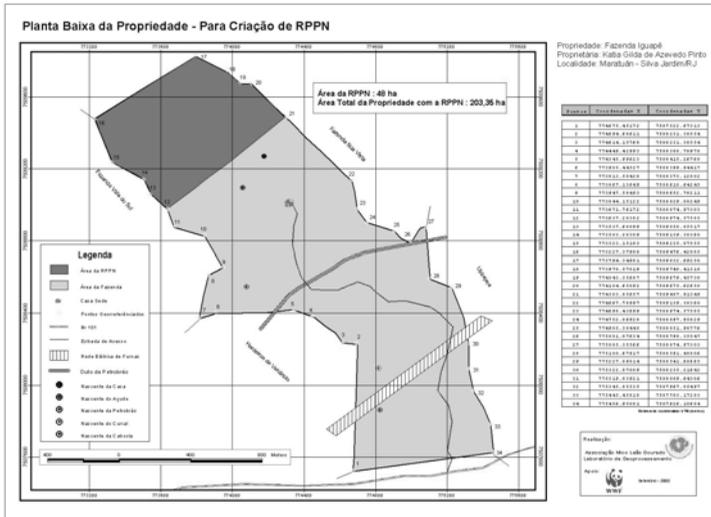


FIGURA 04 - PLANTA BAIXA DA PROPRIEDADE



4. RESULTADOS

Os resultados começaram a surgir nos primeiros anos do programa de apoio a RPPNs, quando foram mapeadas as primeiras áreas através de aerofotogrametria e fotointerpretação, com financiamento da embaixada britânica. Porém, com o LABGEO, os mapas podem ser produzidos a um custo bem mais baixo e em menos tempo. Isso associado a campanha de sensibilização de proprietários da APN, promoveu um arranque na criação de RPPNs na região.

Com um trabalho de quase dez anos na região, o habitat do mico-leão-dourado conta com uma área total de aproximadamente 6.000 ha protegidos em forma de RPPNs, dentre 11 Unidades criadas e 21 com processo de criação. Há ainda uma lista com 11 proprietários interessados em criar RPPNs, com suas áreas sendo mapeadas ou aguardando preparo de documentação ou visita dos técnicos da AMLD.

Este programa tem colaborado para manter o Estado do RJ em 4º. lugar no *ranking* nacional em número de RPPNs, o que é um passo a frente na conservação da Mata Atlântica. Com o trabalho de produção de mapas, a AMLD se destaca como líder entre as instituições brasileiras que apóiam RPPNs.

TABELA 01 - NÚMERO DE RPPNs CRIADAS NA ÁREA DO MICO-LEÃO-DOURADO

Nome da Propriedade	Município	Área (ha)	Proprietário
Faz. Barra do Sana	Macaé	162,4	Gildo Shueler Vieira
Faz. Córrego da Luz	Casimiro de Abreu	20	Rubens R. da Silva
Faz. Bom Retiro	Casimiro de Abreu	472	Nelson Sena Cardoso
Faz. Arco Íris	Silva Jardim	45,86	Jacob Reiffman
Sítio Cachoeira Grande	Silva Jardim	14	Deise Moreira Paulo
Reserva Mato Grosso	Saquarema	26,11	Ney de Souza Pereira
Sítio Santa Fé	Silva Jardim	14,31	Deise Moreira Paulo
Faz. União	Silva Jardim	343,1	Rui Brandão Caldas
Granja Redenção	Silva Jardim	33,8	Angelina Soledad
Faz. Gaviões	Silva Jardim	117,39	Sérgio Jacques Flasksman
Faz. Floresta Alta	Silva Jardim	380,9	Lauro Pereira Vieira

TOTAL	1629,87
-------	---------

TABELA 02 – RPPNS EM PROCESSO DE CRIAÇÃO JUNTO AO IBAMA

Nome da Propriedade	Município	Área (ha)	Proprietário
Faz. Reunidas	Casimiro de Abreu	194,00	João Lopes Ferreira Jr.
Faz. Carioca	Casimiro de Abreu	508,00	Ricardo Backheuser/Paulo
Agropecuária Ventania	Casimiro de Abreu	138,27	Luiz Adilson Bom
Sítio Cisne Branco	Silva Jardim	5,70	Mariano Valviesse
Faz. Gaia	Bom Jardim	205,00	ONG Planeta Vivo
Sítio Água Vertentes	Silva Jardim	11,50	Paulo Evódio de Araújo Guedes
Faz. Acarauba	Silva Jardim	1681,00	Eduardo Castilho
Faz. Boa Esperança	Silva Jardim	77,88	Norton Barbosa Rodrigues
Faz. Matumbo	Casimiro de Abreu	31,00	Denise Spiller e Lúcia Lopes
Faz. Iguape	Silva Jardim	48,00	Katia Gilda de Azevedo Pinto
Faz. Taguaral	Silva Jardim	36,00	Mario Carvalho da Fonseca
Faz. Shangrila	Silva Jardim	108,00	Fábio Marcílio Pinto
Sítio Chalon	Silva Jardim	8,80	Luiz Carlos de Oliveira
Sítio Serrano	Silva Jardim	7,00	Eduardo Barbosa Cordeiro
Faz. S. Ant dos Cordeiros -1	Silva Jardim	26,00	Eduardo Barbosa Cordeiro
Faz. S. Ant dos Cordeiros -2	Silva Jardim	58,00	Eduardo Barbosa Cordeiro
Faz. Continental	Silva Jardim	200,00	Oswaldo
Re Bot Aguas Claras	Silva Jardim	40,00	Gilberto Perdigão de Freitas
Faz. Quero Quero	Silva Jardim	16,00	Mônica Dubeux Amorin
Faz. Lençóis	Silva Jardim	13,00	Rogério Amorin de Freitas
Hotel Tapinoa	Silva Jardim	30,00	Paulo Sergio Vieira

TOTAL	3443,15
--------------	----------------

5. CONCLUSÕES

Além de ser um instrumento eficaz para a preservação da Mata Atlântica, a criação de RPPNs envolve a participação da comunidade, em atividades educacionais, de lazer, culturais e científicas, podendo trazer lucros para a comunidade desde que resguardados os objetivos de preservação ambiental. “ Este programa é uma estratégia diferenciada que contribui com um rápido crescimento quantitativo de áreas preservadas, possibilitando ainda um avanço qualitativo

quando passa a contar prioritariamente com a participação da sociedade no esforço de conservação.”

O mapeamento realizado através deste trabalho não dá legitimidade da propriedade, porém pode ser indicador de possíveis equívocos relativos a dimensões, limites e confrontações.

Este trabalho demonstra que os receptores GPS e as geotecnologias de modo geral se tornaram instrumentos essenciais para a conservação da biodiversidade. Além deste uso, o LABGEO apóia outros programas da AMLD, voltados a pesquisas com o mico-leão-dourado e seu habitat; a conservação ambiental; e a trabalhos de educação ambiental com escolas, comunidades rurais e assentamentos humanos na região de ocorrência desta espécie de primata.

6. REFERÊNCIAS

Decreto Federal **No. 98.914** (RPPN).

Decreto Federal **No.750** (exploração e supressão da Mata Atlântica).

Decreto Federal **No. 1.922** de 05 de junho de 1996, publicado no D.O., de 07.06.1996.

FERNANDES, R.V., RAMBALDI, D.M., BENTO, M.I.S. e MATSO, P.M.. **A RPPN (Reserva Particular do Patrimônio Natural), como Mecanismo de Proteção Legal para o Habitat do Mico-Leão-Dourado (*Leontopithecus rosalia*, Lesson 1840)**. In: Anais do II Congresso Brasileiro de Unidades de conservação - Rede Nacional Pró Unidades de Conservação. Campo Grande/MS.2000.

Lei **9605/98** - Lei de Crimes Ambientais.

IBAMA. Informativo: **Reserva Particular do Patrimônio Natural - RPPN, uma Alternativa Inteligente**. Brasília; 1.996.

RAMBALDI, D. M. & FERREIRA, Fabiano H. F.. **A RPPN - Reserva Particular do Patrimônio Natural e a Função Social da Propriedade**. In Anais do X Congresso Mundial de Sociologia Rural e XXXVIII Congresso Brasileiro de Economia e Sociologia Rural . Rio de Janeiro. 2.000.

SALMITO, T. M. & RIBEIRO, A.. **Reserva Particular do Patrimônio Natural / RPPN, Conservação 'in situ'**. IBAMA, Rio de Janeiro /RJ. 1.999.

WWF - Fundo Mundial para a Natureza / Brasil. Informativo: **Reserva Particular do Patrimônio Natural**. Brasília. 1.999.

ATUALIZAÇÃO DA LEGISLAÇÃO CARTOGRÁFICA – NECESSIDADE NACIONAL

Kátia Duarte Pereira¹
Moema José de Carvalho Augusto²
Cláudio João Barreto dos Santos³
Anna Lúcia Freitas⁴

- 1 IBGE/Departamento de Geodesia – katiaduarte@ibge.gov.br
- 2 IBGE/Deapratmento de Cartografia – moemajose@ibge.gov.br
- 3 IBGE/Deapratmento de Cartografia – claudiojoao@ibge.gov.br
- 4 IBGE/Deapratmento de Cartografia – annalucia@ibge.gov.br

RESUMO

O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) tem como missão retratar o Brasil, colocando à disposição da sociedade informações sistematizadas sobre nossa realidade, em suas dimensões territorial, demográfica, social, econômica e política. Estas informações possibilitam apresentar as características mais relevantes do país a toda a sociedade, retratando com fidelidade a realidade brasileira. A clara consciência dos condicionantes estratégicos, aos quais estará submetido no futuro imediato, coloca para uma instituição com tal perfil diversos desafios, de modo a adequar-se aos novos tempos. Acompanhar e adaptar-se às transformações em curso, tendo como objetivo atender, com qualidade e economicidade às crescentes demandas da sociedade por mais informações, exige além da clareza quanto à sua missão institucional, o conhecimento dos fatores condicionantes básicos que estão e estarão acompanhando este instituto em suas atividades de levantamento, produção e disseminação de informações.

O IBGE, através de seu Departamento de Geodésia, é a agência governamental nacional responsável pelo conhecimento acerca da forma e extensão do território brasileiro, através do estabelecimento e manutenção do Sistema Geodésico Brasileiro (SGB). Por outro lado, o mapeamento sistemático, fundamental para o conhecimento do país, constitui importante documentação de apoio à gestão territorial, sendo uma atividade de desenvolvimento constante realizada pelo IBGE, através de seu Departamento de Cartografia, e por outros órgãos integrantes do Sistema Cartográfico Nacional (SCN). Ao longo do tempo, esses trabalhos realizados em diversas regiões do país subsidiaram a elaboração de mapas, cartogramas, dentre outros produtos.

A Cartografia se desenvolve como instrumento de suporte essencial às áreas social (eleita prioritária pelo Governo Federal), agrícola, de segurança e energética. A sua contribuição é real e necessária aos grandes desafios com que se defrontam todos os níveis de governo (federal, estadual e municipal), seja na integração nacional, políticas regionais e urbanas, demarcação fundiária, informações sobre meio ambiente e recursos naturais, plano diretor das cidades, etc. Dessa forma, a representação do espaço territorial brasileiro através das cartas e mapas, devido à escassez de recursos, necessita de uma ação seletiva, progressiva e coordenada para que se determinem as prioridades conjunturais e padrões cartográficos dentro de critérios técnicos e legais a serem aceitos e seguidos pela sociedade. Entretanto, para que esses objetivos sejam alcançados, faz-se necessária uma legislação compatível com a realidade tecnológica existente.

Durante o I Seminário sobre Referencial Geocêntrico no Brasil, realizado em 2000, quando apresentou a proposta de atualização do sistema de referência nacional, através da criação do Projeto Mudança do Referencial Geodésico (PMRG), propôs também que fosse efetuada uma modernização da legislação cartográfica existente. Para atingir esse objetivo, foi criado o Grupo de Trabalho, chamado GT6 – Normatização e Legislação, que tem como incumbência elaborar uma proposta de atualização que não seja limitada apenas aos padrões técnicos, e sim que abranja toda a legislação, principalmente a que define as diretrizes e bases da cartografia brasileira e a partir daí, propor mudanças para as demais esferas.

Palavras-chave: legislação para Cartografia e Geodésia; padronização; sistema de referência.

ABSTRACT

The Brazilian Institute of Geography and Statistics (IBGE) has as its mission to make a picture of Brazil, and to make available for the society systematized information about our reality, in its territorial, demographic, social, economic and politic dimensions.

IBGE, through its department of Geodesy, is the national governmental agency responsible for the knowledge about the shape and extension of Brazilian territory, by establishing and minting the Brazilian Geodesic System (SGB). On the other hand, systematic mapping, fundamental for the knowledge of the country main features, constitutes important documentation for territorial management, and is under constant development activity, realized by IBGE, through its Department of Cartography and by other organizations which integrate the National Cartographic System (SCN).

During the I Seminar about Geocentric Referential in Brazil, realized in the year 2000, IBGE presented the proposal for updating the national reference system, through the creation of the Project for Geodesic Referential Change – PMRG, and also proposed a modernization of the existing cartographic legislation. In order to achieve this objective it was created a Working Group, named GT6 – Standardization and Legislation, which has the task to elaborate the updating proposal, not limited only to the technical standards, but comprehending all legislation, mainly that defines the guidelines and basis of the Brazilian cartography, and from this starting point to propose changes for other related subjects. It must be stated that this legislation revision is not necessary only due technological advancements, since technical standards had been updated constantly to follow the technological evolution related to surveying.

Keywords: legislation for Cartography and Geodesy; standardization; reference system.

1. INTRODUÇÃO

O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) tem como missão retratar o Brasil, colocando à disposição da sociedade informações sistematizadas sobre nossa realidade, em suas dimensões territorial, demográfica, social, econômica e política. Estas informações possibilitam apresentar as características mais relevantes do país a toda a sociedade, retratando com fidelidade a realidade brasileira. A clara consciência dos condicionantes estratégicos, aos quais estará submetido no futuro imediato, coloca para uma instituição com tal perfil diversos desafios, de modo a adequar-se aos novos tempos. Acompanhar e adaptar-se às transformações em curso, tendo como objetivo atender, com qualidade e economicidade às crescentes demandas da sociedade por mais informações, exige além da clareza quanto à sua missão institucional, o conhecimento dos fatores condicionantes básicos que estão e estarão acompanhado este instituto em suas atividades de levantamento, produção e disseminação de informações.

O IBGE, através de seu Departamento de Geodésia, é a agência governamental nacional responsável pelo conhecimento acerca da forma e extensão do território brasileiro, através do estabelecimento e manutenção do Sistema Geodésico Brasileiro (SGB). Por outro lado, o mapeamento sistemático, fundamental para o conhecimento do país, constitui importante documentação de apoio à gestão territorial, sendo uma atividade de desenvolvimento constante realizada pelo IBGE, através de seu Departamento de Cartografia, e por outros órgãos integrantes do Sistema Cartográfico Nacional (SCN). Ao longo do tempo, esses trabalhos

realizados em diversas regiões do país subsidiaram a elaboração de mapas e cartogramas, dentre outros produtos.

A Cartografia se desenvolve como instrumento de suporte essencial às áreas social (eleita prioritária pelo governo federal), agrícola, de segurança e energética. A sua contribuição é real e necessária aos grandes desafios com que se defrontam os governos federal, estaduais e municipais, seja na integração nacional, políticas regionais e urbanas, demarcação fundiária, informações sobre meio ambiente e recursos naturais, plano diretor das cidades, dentre outros. Dessa forma, a representação do espaço territorial brasileiro através das cartas e mapas, devido à escassez de recursos, necessita de uma ação seletiva, progressiva e coordenada para que se determinem as prioridades conjunturais e padrões cartográficos dentro de critérios técnicos e legais a serem aceitos e seguidos pela sociedade. Entretanto, para que esses objetivos sejam alcançados, faz-se necessária uma legislação compatível com a realidade tecnológica existente; pois o avanço ocorrido nas diferentes áreas do conhecimento humano nas últimas décadas aumentou a demanda por produtos cartográficos atualizados em escalas maiores e mais confiáveis, exigindo portanto, um mapeamento sistemático mais eficiente. Essa demanda é sentida em todo o Brasil. Porém, o país sofre da denominada “defasagem cartográfica”. O motivo para essa defasagem da Cartografia Nacional pode ser entendida como decorrência da falta de recursos financeiros que subsidiem uma política cartográfica nacional, e do longo tempo necessário para mapear um país com a extensão territorial do Brasil. Aliada a essa questão, também merece destaque o aspecto legal do mapeamento, uma vez que a legislação cartográfica vigente data de 1967, não considerando portanto os avanços tecnológicos das últimas décadas.

Nos últimos anos, devido a chamada democratização da informação e do conhecimento, muito se tem dito sobre a necessidade de atualização da legislação cartográfica. Apesar das palestras promovidas em congressos e seminários, e dos fóruns específicos efetuados para discutir o tema, até o momento não se tem uma proposta concreta. O IBGE, como órgão público gestor do SGB, tem entre suas atribuições a elaboração de normas e especificações para levantamentos geodésicos e já há algum tempo vem acompanhando estes movimentos, e compartilhando com este anseio da sociedade, já tendo também concordado e vislumbrado esta necessidade de uma revisão geral da legislação.

Deve ser destacado que esta revisão da legislação não é necessária apenas em decorrência dos avanços tecnológicos, uma vez que as normas técnicas têm sofrido atualizações constantes para acompanhar a evolução tecnológica no que tange aos levantamentos. A revisão da legislação cartográfica sistemática deve ser vista também como uma necessidade sócio-econômica, uma vez que a política cartográfica nacional é orientada para a produção de documentos cartográficos em dois sentidos:

- a) apoio ao desenvolvimento econômico e social do país abrangendo as peculiaridades dos diversos setores da economia nacional;
- b) utilização do desenvolvimento da política de segurança do país, notadamente na identificação e demarcação de fronteira e pontos e áreas sensíveis.

Durante o I Seminário sobre Referencial Geocêntrico no Brasil, realizado em 2000, quando o IBGE apresentou a proposta de atualização do sistema de referência nacional, através da criação do Projeto Mudança do Referencial Geodésico (PMRG), propôs também que fosse efetuada uma modernização da legislação cartográfica existente. Para atingir esse objetivo, foi criado o Grupo de Trabalho, denominado GT6 – Normatização e Legislação, que tem como incumbência elaborar uma proposta de atualização que não seja limitada apenas aos padrões técnicos, e sim que abranja toda a legislação, principalmente a que define as diretrizes e bases da Cartografia Brasileira e a partir daí, propor mudanças para as demais esferas.

2. O MAPEAMENTO BRASILEIRO

Ao longo da história a importância do mapeamento sempre se fez presente, pois foi desenvolvido pelo homem antes da escrita devido à necessidade de armazenar e documentar informações sobre rotas e destinos.

“O século XVIII marca o início dos mapeamentos sistemáticos, que evoluíram de um trabalho essencialmente artístico para uma técnica sofisticada de representação da superfície da Terra e dos eventos que sobre ela ocorrem. A Topografia, a Geodésia e a Aerofotogrametria, entre outras, contribuíram de forma definitiva para o aprimoramento da Cartografia. (...) A partir da década de 60, o aperfeiçoamento dos equipamentos computacionais, aliado à queda dos preços e ao significativo aumento da capacidade de armazenamento e processamento, tornou possível o desenvolvimento de softwares especiais e de sistemas complexos de análise e manejo dos dados cartográficos” (ROBINSON et al., 1995).

Um dos grandes problemas na implantação de projetos no Brasil é a grande deficiência de documentos cartográficos, seja devido aos vazios existentes, escalas incorretas ou produtos que não se adequam ao padrão de qualidade estabelecido. Devem ser consideradas também a ignorância dos administradores em termos cartográficos e a improbidade dos investimentos, pois costuma-se afirmar que o mapeamento é uma atividade de alto custo. Em que pese esta afirmativa, há outras considerações que necessitam ser feitas: não será de tão alto custo quando comparada aos benefícios que bases cartográficas corretas e atualizadas trazem a gestão territorial, ao desenvolvimento de projetos de grande porte (hidroelétricas, estradas e telecomunicações, dentre outros). Verifica-se, cada vez mais, a importância de uma Cartografia atualizada e adequada às necessidades que a requerem, e que possa subsidiar investimentos e o desenvolvimento do país; por este

motivo, países como Estados Unidos, França e Alemanha investem cada vez mais no mapeamento. O Brasil apesar de ser um país de grande extensão territorial e alta potencialidade, não tem investido nesta área; seu mapeamento é antigo, com falhas de cobertura e escalas inadequadas. (PEREIRA, 2001)

2.1 BREVE HISTÓRIA DO MAPEAMENTO BRASILEIRO

O mapeamento brasileiro processou-se da mesma forma que a ocupação territorial: do litoral para o interior. A primeira representação cartográfica do território brasileiro foi efetuada em Lisboa, em 1502, através do planisfério português conhecido como Cantino. Em 1922, o Clube de Engenharia editou a Carta do Brasil ao Milionésimo, primeira representação cartográfica de corpo inteiro do país. Entretanto, o maior desenvolvimento da Cartografia efetuou-se a partir da Segunda Guerra Mundial, em função de interesses militares. Em 1946, o Conselho de Segurança Nacional instituiu uma comissão encarregada de fixar normas para a uniformização da cartografia brasileira, e de criar procedimentos para a coordenação dos trabalhos cartográficos. Apesar desta diretriz oficial, até 1977 não havia uma política cartográfica definida. Porém, a importância do desenvolvimento e da produção de uma cartografia sistemática no país cresceu durante este período, em função da ocupação do território; do crescimento e da dinâmica espacial da população brasileira; da valorização e conseqüente uso do solo; e da pressão da necessidade de maior volume e melhor qualidade de informações, para que o governo pudesse, fundamentado também por aspectos técnicos, formular políticas objetivando o desenvolvimento e à segurança nacional (IBGE, 1978; COCAR, 1981).

Em 1978 foram intensificadas as atividades cartográficas através do Programa Especial de Dinamização da Cartografia Terrestre (PDC), que representou um esforço nacional, organizado pelo governo, para equacionar e resolver os problemas que estavam sendo abordados parcialmente a mais de três quartos de século (IBGE, 1978).

O PDC teve dois objetivos: o mapeamento, em escala topográfica, das regiões da Amazônia Legal, e complementar as folhas das cartas nas escalas 1/50.000 e 1/100.000 das regiões centro-sul e nordeste. Até o ano de 1985, quando findou o PDC, a Cartografia Brasileira viveu um período de intensa produção, baseada na modernização dos equipamentos e processos de produção (IBGE, 1978). Porém, SILVA FILHO (1993) reconhecia que *“Apesar da intenção de dotar o País de uma documentação cartográfica que permitisse retratar a realidade de seu território remontar a 1873, quando foi feita a primeira tentativa para a confecção de sua carta topográfica, através da Comissão da Carta Geral do Império, a intenção permanece, pois o mapeamento do território continua incompleto e desatualizado”*. Considerando esta afirmativa e o que existe hoje em termos de mapeamento no

Brasil, verifica-se que muito ainda precisa ser feito em termos cartográficos. A utilização da Cartografia como suporte para o planejamento e desenvolvimento ainda não é uma constante. Na medida em que melhor se conhecer a organização e distribuição dos fenômenos físicos, sócio-econômicos e antrópicos, maiores serão as possibilidades de aplicação de técnicas e recursos disponíveis em favor de diretrizes de real significância. Só se poderá conceber, planejar e implantar projetos de forma mais racional, mais adaptada e adequada à realidade e com redução de custos, se houver disponibilização de uma documentação cartográfica pautada em necessidades reais, pois, não basta mapear; é preciso produzir o documento cartográfico na escala ideal de uso. A inexistência de documentos cartográficos apropriados cria obstáculos ao desenvolvimento continuado e harmonioso, na medida em que impede o reconhecimento de desequilíbrios e oculta riquezas.

2.2 SITUAÇÃO ATUAL DO MAPEAMENTO

Sabe-se que 90% do mapeamento sistemático brasileiro foi produzido originalmente entre as décadas de 60 e 80, o que ocasiona uma necessidade de atualizar as informações contidas nestes documentos. Deve ser considerado, também, a diversidade de sistemas de referência utilizados. Além dos sistemas Córrego Alegre e SAD 69, este com duas realizações, coexistem ainda diversos sistemas locais de referência. No que tange o mapeamento cadastral, devem ser adicionados a esses fatores a questão da falta de normatização, pois não há especificações e padronização estabelecidas.

Por estes dados, constata-se que a situação do mapeamento não é satisfatória, frente à demanda de documentos cartográficos para o planejamento e desenvolvimento social, econômico e ambiental hoje existentes. Dessa forma, para minimizar a questão, o problema pode ser visto por dois modos distintos:

- a) áreas onde não existe mapeamento;
- b) áreas onde existe a necessidade de reciclagem (atualização) do mapeamento.

A necessidade de investimentos no setor é uma realidade, entretanto, cabem estudos de implementação; não basta somente produzir novos mapas. Os investimentos também devem ser voltados para as áreas de estudo e pesquisa de desenvolvimento de novos procedimentos para o mapeamento; aquisição de equipamento, além de formação e habilitação de profissionais para a área. Paralelamente a esta ação, a legislação vigente deve ser revista para que acompanhe não só os avanços tecnológicos mais também as transformações sócio-econômicas pelas quais passa a sociedade.

3. O SISTEMA GEODÉSICO BRASILEIRO - SGB

Por definição o Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) é composto pelo “conjunto de estações geodésicas implantadas na porção da superfície terrestre delimitada pelas fronteiras do país – estações estas que são determinadas por procedimentos operacionais e coordenadas calculadas, segundo modelos geodésicos de precisão compatível com as finalidades a que se destinam.” No Decreto-Lei n. 243, de 28 de fevereiro de 1967, encontram-se fixadas as "Diretrizes e Bases para a Cartografia Brasileira", que preceitua o estabelecimento de um Sistema Plano-Altimétrico Único de pontos geodésicos de controle, materializados no terreno, e que devem para servir de base ao desenvolvimento de trabalhos de natureza cartográfica, constituindo-se no único referencial aceito para a determinação de coordenadas e altitudes em território brasileiro. O estabelecimento do Sistema Geodésico Brasileiro objetiva contribuir para a solução do problema geodésico, entretanto também visa aspectos práticos e aplicados, sendo que a preocupação maior é a referência para as atividades cartográficas. Os pontos geodésicos possibilitam que a comunidade técnica nacional tenha as informações necessárias à condução dos assuntos públicos, principalmente as que permitem apoiar as grandes obras de engenharia e titulação de propriedades, dentre outras não menos importantes. Cabe precipuamente ao IBGE o estabelecimento da rede geodésica fundamental do sistema plani-altimétrico único.

4. O SISTEMA CARTOGRÁFICO NACIONAL (SCN)

As atividades cartográficas no Brasil são desenvolvidas através de um sistema único, denominado Sistema Cartográfico Nacional (SCN), estando sujeito à disciplina de planos e instrumentos de caráter normativo constantes na legislação. O SCN é constituído pelas entidades nacionais públicas e privadas, que tenham por atribuição executar trabalhos cartográficos ou atividades correlatas. O Decreto-Lei n. 243/1967 estabelece que o espaço territorial é representado através de cartas e “outras formas de expressões afins”, tais como fotocartas e mosaicos.

Cabe ao IBGE propor alterações nas Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Terrestre Nacional, de maneira a assegurar a coordenação e uniformidade das normas técnicas para as cartas gerais empregadas pelo SCN.

5. O PROJETO MUDANÇA DO REFERENCIAL GEODÉSICO (PMRG) E A LEGISLAÇÃO

A necessidade da definição das diretrizes e bases para a cartografia brasileira não é recente, pois foi iniciada em 1873, com a criação da Comissão da Carta Geral do Império, tendo atingido sua plenitude em 1967, quando da entrada em vigor do

Decreto-Lei n. 243/1967. Este documento ajudou a construir o que se tem hoje em termos de SCN, independentemente da tecnologia.

O IBGE quando do lançamento da proposta de atualização do sistema de referência, através do Projeto Mudança do Referencial Geodésico (PMRG), entendeu que este processo não seria puramente técnico, pois existem aspectos legais que devem ser observados para que os direitos e deveres da sociedade sejam resguardados. Dentre os diferentes grupos de trabalho criados, um teve por incumbência se ocupar desta tarefa, foi o denominado GT6 – Normatização e Legislação; sendo composto por representantes do IBGE; das universidades e da iniciativa privada. Cabe ressaltar que a Diretoria do Serviço Geográfico do Exército (DSG), embora convidada, não pode participar efetivamente dos trabalhos que estão sendo desenvolvidos.

O GT6 definiu como tarefas iniciais:

- a) efetuar o inventário da legislação, das normas e estudos existentes nos âmbitos federal, estaduais (Comissões estaduais sobre cartografia cadastral) e municipais;
- b) desenvolver estudos de avaliação da legislação e das normas vigentes para a cartografia topográfica;
- c) revisar e atualizar a legislação e as normas em vigor; e emitir recomendações para o Processo de Transição.

O desenvolvimento dos trabalhos do GT6 tem por objetivo tornar a legislação e as normas mais eficientes e compatíveis com os atuais avanços tecnológicos.

Através de estudos iniciais confirmou-se que a legislação cartográfica pode ser subdividida em 3 esferas: federal; estadual e municipal. Na esfera federal verificou-se que, embora não disponha de recursos financeiros relevantes, a Cartografia e a Geodésia são reconhecidas como atividades de importância para o país; prova disso é que ela é citada na Constituição Federal, através do seguinte texto:

“*Art. 21. Compete à União:*

XV - organizar e manter os serviços oficiais de estatística, geografia, geologia e cartografia de âmbito nacional;....

Art. 22. Compete privativamente à União legislar sobre:

XVIII - sistema estatístico, sistema cartográfico e de geologia nacionais;...”

Considerando a abrangência genérica desses artigos, compreende-se que toda atividade cartográfica exercida no país, está a eles agregados. As diretrizes e bases para a cartografia brasileira estão fixadas no Decreto-Lei n. 243/1967, enquanto que suas instruções e normas estão fixadas através do Decreto-Lei n. 89 817, de 20 de junho de 1984, denominado “Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional”, e que atende os termos da regulamentação estabelecida no Capítulo II do Decreto-Lei n. 243/1967, onde se encontra a definição do Sistema Cartográfico Nacional (SCN) (COCAR, 1981):

“Art. 2 - As atividades cartográficas, em todo o território nacional, são levadas a efeito através de um sistema único – Sistema Cartográfico Nacional – sujeito à disciplina de planos e instrumentos de caráter normativo, consoante os preceitos deste decreto-lei.”

O Anexo ao Decreto n. 89 817/1984, em seu Capítulo IV, define o referencial a ser empregado pelo Sistema Geodésico Brasileiro (SGB); enquanto que as “Especificações e Normas Gerais para Levantamentos Geodésicos” (IBGE, 1983) caracterizam detalhadamente o SGB.

Está sendo levantada também, a legislação de diferentes órgãos federais que também atuam na Cartografia e na Geodésia; a Tabela 1 identifica alguns documentos legais. Cabe ressaltar que a legislação referente ao aerolevanteamento não será tratada, uma vez que se encontra tramitando no Congresso Nacional uma proposta de alteração.

TAB. 1- DOCUMENTOS LEGAIS REFERENTES À GEODÉSIA E À CARTOGRAFIA

Documento	Órgão Responsável
Lei n. 4 297	ZEE
Lei n. 10 267/2001	Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA)
Decreto n. 4 449	INCRA
Lei n. 9 272	Política Agrícola (complementando Lei 8171)
Lei n. 9 985/2000	Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC)

Está sendo desenvolvida pesquisas nos Estados da Federação para identificar em cada Estado os órgãos responsáveis pelos trabalhos de Geodésia e de Cartografia, de forma que se tenha acesso à legislação estadual. Quanto aos municípios, a proposta inicial é consultar os governos das capitais e das principais cidades com mais de 200 mil habitantes.

5.1 O DECRETO-LEI N. 243/1967 E O DECRETO N. 89 817/1984

Atualmente o GT6 encontra-se analisando o Decreto-Lei n. 243/1967, que determina as Diretrizes e Bases da Cartografia Nacional. Este decreto foi elaborado em 1967 e continua válido quando define que a coordenação do SCN se faz no exercício do colegiado da Comissão Nacional de Cartografia (CONCAR), e também quando define de forma eficaz as necessidades da Cartografia e da Geodésia. Entretanto, passadas quase 4 décadas, e em decorrência das transformações sofridas pela sociedade brasileira no período, muitas das diretrizes hoje não podem ser mais aplicadas, pois tornaram-se inconsistentes ou não têm como serem atendidas, devido ao mesmo avanço tecnológico. Assim sendo, é necessário atualizar a regulamentação das obrigações e responsabilidades do SCN, de forma a organizá-lo melhor.

O art. 2 do Decreto-Lei n. 243/1967 define o Sistema Cartográfico Nacional da seguinte forma:

“As atividades cartográficas, em todo território nacional, são levadas a efeito através de um sistema único – o Sistema Cartográfico Nacional – sujeito à disciplina de planos e instrumentos de caráter normativo, consoante os preceitos deste decreto-lei.

Parágrafo único – o Sistema Cartográfico Nacional é constituído pelas entidades nacionais, públicas e privadas, que tenham como atribuição principal executar trabalhos cartográficos ou atividades correlatas.”

Já o Decreto n. 89 817/1984, que estabelece as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional, em seu art. 5, define o que vem a ser o serviço cartográfico e as atividades correlatas.

Art.5º Para efeito destas Instruções, define-se: 1- Em caráter geral: 1. Serviço Cartográfico ou de Natureza Cartográfica - é toda operação de representação da superfície terrestre ou parte dela, através de imagens, cartas, plantas e outras formas de expressão afins, tais como definidas no artigo 6º do Decreto-Lei n. 243/67 e seus parágrafos.

2. Atividade Correlata - toda ação, operação ou trabalho destinado a apoiar ou implementar um serviço cartográfico ou de natureza cartográfica, tal como mencionada no parágrafo único do art. 2º do Decreto-Lei n. 243/67.

Considerando estes dois decretos entendeu-se que o trabalho do GT6 não se limita à legislação e normas referentes à Cartografia Sistemática, mas alcança o Sistema Cartográfico Nacional como um todo, conforme o parágrafo único do art 2 do Decreto-Lei n. 243/1967, já citado. O resultado esperado do trabalho será uma proposta de lei que altera, atualiza e consolida a legislação sobre Cartografia e Geodésia no Brasil.

Após uma análise geral percebe-se a necessidade de modernização dessa legislação, pois há necessidade de tratar:

- a) a Cartografia Digital: fidedignidade e direito de propriedade;
- b) as tecnologias de posicionamento mais atuais como o GPS e o GLONASS;
- c) a identificação e a definição das bases cartográficas que têm condições de integrar um sistema de informações geográficas oficial e como certificar e garantir a sua qualidade.

Embora o Decreto-Lei n. 243/1967 garanta acesso livre às áreas onde se encontram estações do SGB, sabe-se que tal não ocorre. Assim sendo, é necessário discriminar melhor os instrumentos legais que permitam o acesso aos marcos do IBGE e da DSG por toda a sociedade. Também devem ser previstos instrumentos que garantam o retorno das informações sobre as estações do SGB a CONCAR e a outros órgãos oficiais de Cartografia.

Há ainda as necessidades de:

- a) garantir a dotação orçamentária objetivando a dinamização e atualização da Cartografia Nacional, através da elaboração de um Plano Cartográfico Plurianual e de definição de Políticas de Cartografia;
- b) adequar os textos dos decretos, considerando as reais condições do IBGE para o exercício das suas atribuições;
- c) verificar a necessidade de inclusão de questões relativas ao mapeamento temático, tendo em vista às consultas feitas ao IBGE para atender mapeamentos especiais, analisar se é conveniente uma normatização mínima, com vistas principalmente a utilização desses produtos por toda a sociedade.

Deve ser destacado que a Geodésia e a Cartografia não utilizam necessariamente o mesmo referencial. O referencial empregado pela Cartografia é definido nos artigos 21 e 22 do Capítulo IV do Decreto n. 89 817/1984:

Art. 21 Os referenciais planimétrico e altimétrico para a Cartografia Brasileira são aqueles que definem o Sistema Geodésico Brasileiro, conforme estabelecido nas "Especificações e Normas Gerais para Levantamentos Geodésicos - IBGE - 1983".

§1º Segundo aquelas normas, o referencial planimétrico coincide com o Sistema Geodésico Sul-americano de 1969 (SAD-69).

§2º O referencial altimétrico coincide com o nível médio do mar na baía de Imbituba, no litoral de Santa Catarina.

Art. 22 A título precário, admite-se documentação cartográfica à base do antigo Sistema Geodésico Córrego Alegre.

Enquanto que o da Geodésia é definido na Resolução IBGE PR nº 22, de 21/07/83, subitem 2.1:

Para o Sistema Geodésico Brasileiro, a imagem geométrica da Terra é definida pelo Elipsóide de Referência Internacional de 1967, aceito pela Assembléia Geral da Associação Geodésica Internacional que teve lugar em Lucerne, no ano de 1967. O referencial altimétrico coincide com a superfície equipotencial que contém o nível médio do mar, definido pelas observações maregráficas tomadas na baía de IMBITUBA, no litoral do Estado de Santa Catarina.

Assim sendo, de forma a permitir um melhor aproveitamento das tecnologias e recursos financeiros, é necessário promover a unificação dos sistemas, de forma que se tenha sempre o mesmo referencial para a Cartografia e a Geodésia.

6. CONCLUSÃO

Com o desenvolvimento das atividades do GT6 espera-se que seja gerada uma legislação compatível com a nova realidade tecnológica e social vigente no país; permitindo assim sua aplicação efetiva. Junto com a legislação espera-se o desenvolvimento de metodologia normatizada dos levantamentos geodésicos e topográficos visando o ensino nos cursos de graduação. O aprimoramento do

modelo matemático da transformação das grandezas medidas no espaço gravitacional terrestre (por exemplo, as grandezas mensuradas com um taquímetro que é orientado segundo a vertical no ponto de observação) para as grandezas homólogas do espaço geométrico (por exemplo, o valor calculado de um grandeza cuja referência é a normal ao modelo matemático de Terra adotado que é o elipsóide de revolução) ainda é um problema não totalmente equacionado. Há a necessidade da elaboração de cartas das componentes do desvio da vertical a fim de que se consiga efetuar o citado aprimoramento.

7. REFERÊNCIAS

- COCAR. **Cartografia e Aerolevantamento – Legislação.** n° 01. Brasília: IBGE. 1981. 136 p.
- IBGE. **Proposta Preliminar para a adoção de um Referencial Geocêntrico no Brasil,** Rio de Janeiro. 2000a. 80 p.
- IBGE. **Resolução PR. n°22,** de 21 de julho de 1983. Dispõe sobre as Especificações e Normas para Levantamento Geodésicos em Território Brasileiro. **Boletim de Serviço 1602 (Suplemento).** Rio de Janeiro. 11 p. 1° agos. 1983.
- IBGE. **Especificações e Normas Gerais para Levantamentos Geodésicos – Coletânea de Normas Vigentes.** Rio de Janeiro. 1998. 74 p.
- IBGE (1978). **Programa Especial de Dinamização da Cartografia Terrestre: 1978 – 1985.** Rio de Janeiro. 1978. 116p..
- INCRA. **RIBac.** 2000. Disponível em <http://www.incra.gov.br>. [capturado em 02 jun. 2000]
- PEREIRA, Kátia D.. **Indicadores Técnicos para uso da RBMC no Mapeamento.** 2001. 197p. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Instituto Militar de Engenharia. 2001.
- ROBINSON, Arthur H. et al. **Elements of Cartography,** 6th ed. New York: John Wiley & Sons, Inc. 1995. 674 p. ISBN 0-471-55579-7
- SILVA FILHO, J.E. **Perfil Histórico dos Serviços de Mapeamento Sistemático no Brasil,** Revista Fator GIS. n° 3. Curitiba. p. 20 - 23. Outubro/ Novembro/Dezembro. 1993

8. AGRADECIMENTOS

Também contribuíram para a confecção deste trabalho os seguintes profissionais:

- Carla Vaitsman dos Santos (Universidade do Vale do Paraíba)
- Carlito Vieira de Moraes (Universidade Federal de Santa Maria)
- Eliane Alves da Silva (IBGE/CDDI)
- Hostílio Maia de Paula Neto (Autonomo)

Isabel Fittipaldi (JFRJ)

Régis Fernandes Bueno (Associação Brasileira de Normas Técnicas)

Wolmar Gonçalves Magalhães (IBGE/DECAR)

IMPLEMENTAÇÃO COMPUTACIONAL DE SÍMBOLOS CARTOGRÁFICOS EM SISTEMAS ESPECIALISTAS PARA GERAÇÃO DE MAPAS TEMÁTICOS

Erica Patias Rodrigues¹
Claudia Robbi Sluter²

1 Universidade Federal do Paraná – eri_patias@yahoo.com.br

2 Universidade Federal do Paraná – robbi@ufpr.br

RESUMO

Devido aos avanços da Cartografia digital aliado ao crescimento significativo de usuários desse tipo de tecnologia, nem sempre especializados em Cartografia, vêm se tornando cada vez mais necessárias pesquisas para o desenvolvimento de interfaces para construção de mapas temáticos. Neste trabalho foram desenvolvidas interfaces que permitem ao usuário do sistema definir uma linguagem cartográfica adequada à visualização de dados espaciais. O usuário define as informações que deseja representar e como irá representá-las, através de escolhas que vai realizando dentro do sistema baseado em conhecimento. Com essa pesquisa, procura-se atender ao usuário que busca um sistema amigável e auto-explicativo, que deseja realizar as tarefas facilmente, sem qualquer teinamento específico, mas com resultados qualitativa e quantitativamente corretos. As telas projetadas possibilitam a alteração de símbolos pontuais, lineares e de área, procurando-se padronizar todas as telas, o que facilita a interação do usuário com o sistema.

Palavras-chave: mapas temáticos, linguagem cartográfica, interface usuário-mapa.

ABSTRACT

The digital cartography advances and the great number of people that uses this technology today demands for research on the development of software interaction applied to digital thematic mapping. This paper presents some results of a work which goal is to design and implement software dialogs for the definition of cartographic language suitable for visualizing spatial data. The system user defines the information that she or he wants to depict on a map. The system helps the user to make decisions about representing a thematic information through a knowledge-based system. One of the aim of this research is to develop a friendly and self-explanation system with which the user can easily make maps that are well defined according to the thematic map concepts. The software dialogs permit the user to

define pontual, linear or area symbols by changing their shape, color and size. The design of every dialog follows the same visual pattern which makes easier the user-system interaction.

Keywords: thematic maps, cartographic language, user-map interaction.

1. INTRODUÇÃO

Um trabalho de pesquisa que objetiva o projeto de interfaces para construção de mapas temáticos é necessário devido aos avanços da tecnologia computacional. Com a evolução da cartografia digital e dos sistemas de informações geográficas (SIG), aliada ao baixo custo dos microcomputadores, observa-se um crescente número de usuários de programas computacionais que permitem produzir mapas. Contudo, o grande número de usuários destes programas computacionais não possuem conhecimento específico sobre cartografia, e principalmente sobre projeto cartográfico temático. Os resultados são muitas vezes, mapas que visualmente não apresentam as características dos fenômenos que o próprio profissional que o construiu precisa analisar. Estes mapas são ineficientes e com baixo poder de informação (Robbi, 2000).

As ferramentas computacionais permitem a geração rápida e fácil de mapas temáticos aumentando as possibilidades de visualização de informações geográficas (Taylor, 1994). Se forem fornecidos ao usuário mecanismos para interagir com a base de dados, como por exemplo, visualizar diferentes aspectos de um fenômeno, visualizar as informações em diferentes escalas, escolher a simbologia para visualizar as feições, visualizar a região de diferentes pontos de vista ou rotar o mapa, esse usuário estará interagindo com o mapa (Peterson, 1995).

Ao utilizar um sistema computacional, o usuário procura facilidade e não está disposto a empregar tempo em seu estudo. Por isso, o sistema deve possuir interfaces amigáveis e auto-explicativas, de modo que o usuário seja capaz de realizar as tarefas facilmente, sem qualquer treinamento específico, e com resultados qualitativa e quantitativamente corretos.

Nos softwares presentes no mercado, a interface utilizada para a escolha da linguagem cartográfica é genérica e não considera o contexto em que foi ativada. Quando se deseja mudar o atributo gráfico de um símbolo, são apresentadas opções que permitem alterar também outros tipos de símbolos, o que não surte nenhum efeito. Por exemplo, ao modificar a cor de um símbolo pontual também é apresentada na mesma tela a opção para modificar a espessura da linha, ainda que nenhuma linha esteja selecionada. Então o que seria esperado das interfaces de um programa para visualização cartográfica? O usuário deve visualizar apenas as opções aplicáveis à tarefa que está sendo executada. A simplicidade das interfaces requer a

padronização das telas do sistema e a utilização de uma nomenclatura que esteja presente no dia-a-dia do usuário. Para que essa consistência seja alcançada, foram projetadas telas específicas para a definição de símbolos pontuais, lineares e de área, sendo que cada tela possui características apropriadas aos diferentes símbolos. As telas resultantes, bem como os algoritmos para a construção dos diferentes símbolos, foram definidos de acordo com a teoria de Linguagem Cartográfica.

Quando o usuário está definindo tons de cores, padrões e outros atributos nessas telas, alguns parâmetros que definem a seleção das variáveis visuais são utilizados para limitar as opções de simbologia para a representação do tema. Com isso, alguns erros relacionados à inadequação da variável visual em relação à dimensão do fenômeno geográfico e nível de medida da variável representada são evitados.

Objetivou-se neste trabalho o projeto e desenvolvimento de interfaces simplificadas, porém eficientes, que não permitam que o usuário do sistema cometa erros graves em relação a conceitos básicos de Cartografia, mesmo que este usuário não seja um profissional da área de Cartografia. A tela para símbolos pontuais foi projetada para apresentar as opções para alteração dos atributos de tom de cor, forma e tamanho. Para símbolos lineares, é possível modificar tom de cor, espessura e padrão. No caso de símbolos de área, podem ser alterados tom de cor, luminosidade e/ou saturação de cor. Em todas as telas é exibido também o aspecto final do símbolo de acordo com as opções selecionadas.

2. PROJETO E CONSTRUÇÃO DAS INTERFACES

O projeto das interfaces foi desenvolvido em Linguagem C++, para plataforma Windows, utilizando o ambiente de programação Microsoft Visual C++, com o auxílio da biblioteca MFC (Microsoft Foundation Classes). As soluções para os símbolos cartográficos foram projetadas para as diferentes primitivas gráficas: ponto, linha e área.

Os símbolos cartográficos foram construídos com técnicas de computação gráfica. Essas funções computacionais que constroem os símbolos cartográficos serão integradas à implementação de um sistema para visualização cartográfica completo. Um dos módulos deste sistema engloba todas as funções para geração de mapas temáticos. As interfaces e funções desenvolvidas nesta pesquisa de iniciação científica serão incorporadas a este módulo, permitindo ao usuário optar entre diversas opções de cartografia temática oferecidas.

Para a definição das cores foi utilizado o padrão RGB com valores sugeridos pelo software ColorBrewer, desenvolvido na Pennsylvania State University (Estados Unidos – www.geovista.com). Esses esquemas de cores também consideram a percepção humana de cores vistas em tela de computador, quando são utilizadas para representar determinado fenômeno. Para diferentes tons, por

exemplo, a luminosidade deve ser uniforme, de modo que a diferença percebida entre as classes possua apenas o nível nominal.

No caso de esquemas qualitativos, não são consideradas diferenças em magnitude entre as classes da legenda e os tons de cor são utilizados para apresentar visualmente somente a diferença entre as classes. Esses esquemas são adequados à representação de dados nominais. Os esquemas de cores sequenciais são adequados a conjuntos de dados que podem ser de alguma forma ordenados. Geralmente a luminosidade é empregada a esse tipo de esquema, associando tons de cores com alta luminosidade (cores claras) a valores baixos e tons de cores com baixa luminosidade (cores escuras) a valores altos. Outro tipo de esquema de cores existente é o divergente, no qual os valores próximos à média são geralmente representados em tons de cores claros e os valores extremos em tons de cores escuros.

As implementações destas interfaces foram realizadas com um microcomputador Pentium III 850, com 128 MB RAM, do Laboratório de SIG (Sistemas de Informações Geográficas) do Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas.

3. DESENVOLVIMENTO DA LINGUAGEM CARTOGRÁFICA

Em adição a sua localização espacial, um número limitado de variáveis gráficas pode ser utilizado na construção de um mapa: tamanho, forma, padrão (textura, orientação arranjo) e cor (tom, valor e saturação). Dados espaciais podem ser tratados como pontuais, lineares ou de área. Fenômenos pontuais são aqueles em que a dimensão, de acordo com a escala definida, não é levada em consideração. Por exemplo, em um mapa da cidade de Curitiba, os postos de saúde podem ser considerados como fenômenos pontuais. Fenômenos lineares são aqueles em que uma dimensão é considerada, por exemplo rios não muito largos são tratados como lineares num mapa do Estado do Paraná. Os fenômenos de área podem ser considerados como tendo duas dimensões, por exemplo em diferentes classes de uso do solo.

Os dados espaciais podem ser mapeados em diferentes níveis de medida: nominal, ordinal ou numérico, dependendo da maneira como são coletados. Em níveis de medida nominal há uma distinção de tipo e não diferenciação de ordem entre as classes de dados. Já nos níveis de medida ordinal e numérico, há uma ordem estabelecida, sendo que no numérico essa ordem é associada a quantidades.

Um projeto cartográfico eficiente depende da combinação adequada das variáveis gráficas, da dimensão espacial e dos níveis de medida, de forma a definir uma linguagem cartográfica, tendo em vista que os mapas são meios de comunicação.

No desenvolvimento da linguagem cartográfica de um determinado mapa temático devemos considerar as dimensões espaciais das feições a serem representadas, o nível de medida em que os dados foram coletados e as primitivas gráficas que serão utilizadas para a representação dessas feições. Para cada uma das diferentes primitivas gráficas foram projetados símbolos para a representação de cada uma das variáveis gráficas: tamanho, forma, tom de cor, valor ou luminosidade, saturação, orientação, arranjo e textura, de acordo com a tipologia proposta por MacEacheren, 1994 (Figuras 1 e 2). Variáveis gráficas são geralmente categorizadas como sendo adequadas ou não adequadas a um determinado nível de medida. Geralmente variáveis que são adequadas para representações ordinais também podem ser utilizadas para diferenciações numéricas.

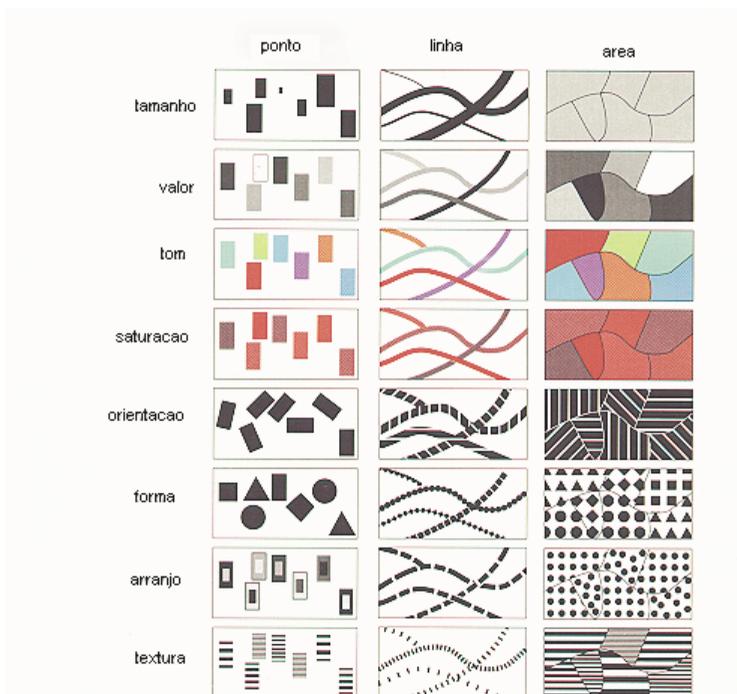


Figura 1 – Primitivas gráficas e variáveis visuais
FONTE: Adaptada de MacEachren (1994, p.33)

	numérico	ordinal	nominal
localização	G	G	G
tamanho	G	G	P
valor de cor	M	G	P
saturação de cor	M	G	P
tom de cor	M ^a	M ^a	G
textura	M	M	G ^b
orientação	M ^c	M ^c	G
arranjo	P	P	M ^d
forma	P	P	G

a Os tons devem ser cuidadosamente selecionados para que uma ordem ou hierarquia seja percebida (p.ex. a seqüência espectral do amarelo, passando pelo laranja, ao vermelho).

b As texturas são boas para diferenciar somente duas, ou talvez três, categorias.

c A orientação fornece capacidade limitada para comunicar informações numéricas e ordinais, quando são usadas marcas padronizadas, tais como um símbolo do relógio para comunicar informações sobre períodos de tempo da ocorrência do fenômeno, uma bandeirola para indicar as direções do vento, ou flechas para indicar direções das declividades do terreno.

d A variável arranjo é melhor utilizada como uma variável redundante, para representar a diferença visual entre as categorias mais óbvias.

Figura 2 – Variáveis gráficas adequadas aos níveis de medida.

FONTE: Adaptada de MacEachren (1994, p.33)

Para níveis de medida nominal é comum e eficiente a utilização das variáveis gráficas forma ou tom de cor para diferenciação entre classes. Para os ordinais, utilizam-se as variáveis gráficas tamanho, luminosidade, saturação de cor,

arranjo e textura. E para os níveis de medida numéricos diferenciam-se as classes através de tamanho ou luminosidade e saturação de cor quando os diferentes símbolos são associados através da legenda a valores numéricos.

4. O USUÁRIO E O SISTEMA

O projeto e implementação das telas para alteração de atributos de símbolos cartográficos visa que o usuário faça suas escolhas de maneira intuitiva, ou seja, não exigindo desse um esforço muito grande no que diz respeito a estudos sobre Cartografia para que ele possa confeccionar seus próprios mapas. Quando o usuário faz suas escolhas, muitos conceitos da teoria cartográfica já estão embutidos no sistema, não permitindo que esse venha realizar escolhas impróprias, o que levaria a um mapa ineficiente.

O programa não permite a definição de símbolos com qualquer combinação possível de variáveis visuais, pois quem não é especialista em Cartografia não tem conhecimento para definir adequadamente as características gráficas dos símbolos cartográficos de forma a construir mapas que comuniquem eficientemente o conhecimento representado.

As interfaces projetadas e implementadas melhoram as soluções para símbolos cartográficos temáticos porque as escolhas desses são definidas computacionalmente de acordo com as variáveis visuais adequadas à primitiva gráfica e nível de medida. Por exemplo, se o usuário escolhe como primitiva gráfica o ponto, como nível de medida o numérico e para representar as classes a variável visual tamanho, todas as classes terão as mesmas cores e formas, mesmo que se tente modificá-las.

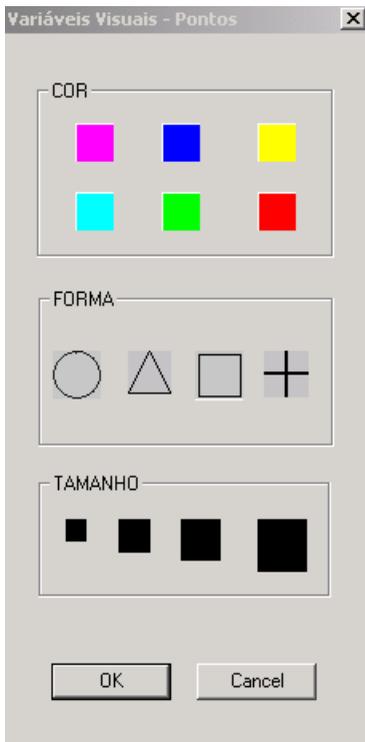
A interação do usuário com o sistema para alteração dos atributos para símbolos pontuais e lineares se dá através das seguintes telas, apresentadas nas Figuras 3a e 3b. Na tela de símbolos pontuais, é permitido ao usuário alterar três características gráficas que definem um símbolo pontual: tom de cor, tipo de símbolo e tamanho. Essas opções serão disponibilizadas dependendo das escolhas que foram feitas anteriormente no sistema. Por exemplo, se o nível de medida escolhido foi o ordinal e a primitiva gráfica para representar o fenômeno foi a pontual, será disponibilizada a opção para alteração de tamanho, que é a mais adequada dentro da teoria cartográfica. Na tela de símbolos lineares, pode-se alterar tom de cor, espessura e padrão. Novamente, serão disponibilizadas somente as opções que se adequem ao nível de medida previamente definido.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

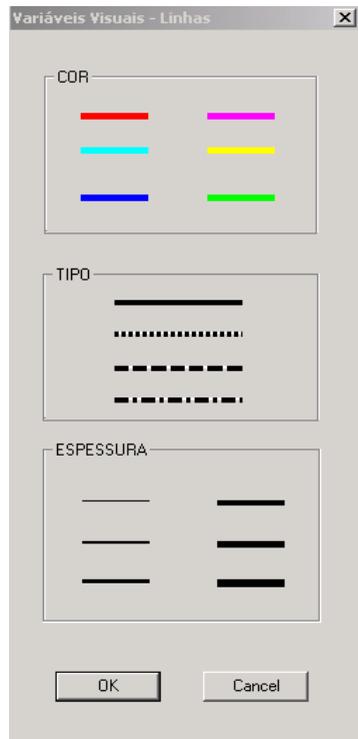
O projeto desenvolvido teve como objetivo o desenvolvimento de interfaces para determinação de simbologia cartográfica em mapas temáticos. As interfaces

foram construídas de maneira a se tornarem de simples utilização mas com eficiência dentro de um projeto cartográfico.

Engenheiros Cartógrafos não são os únicos profissionais que realizam e devem entender Cartografia. Hoje em dia, profissionais de diversas áreas necessitam produzir mapas que os auxiliam no desenvolvimento de seus projetos. Mas a maioria dos programas computacionais que permitem produzir mapas exige do usuário certo conhecimento sobre Cartografia e projeto cartográfico temático. O que se está desenvolvendo então é um sistema que seja de fácil aprendizado e utilização para todos os tipos de profissionais, mas que ao mesmo tempo seja eficiente e consistente.



(a)



(b)

Figura 3 - Telas para alteração de atributos pontuais e lineares

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Dent, B.D. **Principles of Thematic Map Design**. McGraw-Hill. 1999. 5^a Edição.

MacEacheren, A. M. **Some Truth with Maps: a primer on symbolization & design**. Association of American Geographers. 1994.

Peterson, M. P. **Interactive and Animated Cartography**. Prentice Hall, New Jersey, 1995.

Robbi, C. **Sistema para Visualização de Informações Cartográficas para Planejamento Urbano**. Tese de Doutorado em Computação Aplicada. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. 2000.

Taylor, D.R.F. Perspectives on visualization and modern cartography. In: MacEachren, A.M.; Taylor, D.R.F. ed. **Visualization in modern cartography**. Grã-Bretanha: Pergamon, 1994. p.333-341.

7. AGRADECIMENTOS

A professora Dra. Cláudia Robbi Sluter, pela valiosa orientação durante todo o desenvolvimento do trabalho e pela análise criteriosa, correções e sugestões para a melhoria do texto.

A Eliana Pantaleão, aluna do mestrado do Departamento de Geomática, pela ajuda na aprendizagem e desenvolvimento da Linguagem de Programação utilizada no trabalho.

UM ESTUDO SOBRE O USO DE INDICADORES ANALÍTICOS PARA PROJETO DE BASES CARTOGRÁFICAS ORIENTADAS AO USUÁRIO.

Deise Regina Lazzarotto¹

Claudi Robbi Sluter²

Quintino Dalmolin³

1 Universidade Federal do Paraná – drlazzarotto@ig.com.br

2 Universidade Federal do Paraná – robbi@ufpr.br

3 Universidade Federal do Paraná – dalmolin@geoc.ufpr.br

RESUMO

Entende-se que para a adequada solicitação da Base Cartográfica, é necessário um ajuste equilibrado entre as especificações técnicas do mapeamento solicitado e seus reais objetivos. Esse trabalho pretende orientar o usuário da Cartografia sobre este aspecto de modo que venha a obter o mapeamento eficaz aos seus objetivos. Indicadores analíticos mostram-se favoráveis a uma solução cientificamente estruturada para se estabelecer um processo de construção da Base Cartográfica adequada aos objetivos do usuário. Após o estabelecimento destes Indicadores, eles serão submetidos às técnicas de Pesquisa Operacional para uma possível Otimização do Sistema de Mapeamento.

Palavras-chave: Base Cartográfica; Indicadores; Pesquisa Operacional.

ABSTRACT

In order to create proper specifications for constructing a cartographic base map, it becomes necessary to provide equilibrium among technical specifications and the objective to be reached by the user of the map. This paper aims to orient the user of cartographic products about this aspect so to help him on the process of obtain results to easy reaching the objectives. It has been showed that Analytical Indicators are tools, scientifically based, to establish a process for construction of a cartographic base adequate to the user needs. Following the construction of these Analytical Indicators, they will be submitted to techniques of Operational Research for a possible optimization of the Mapping System.

Keywords: Cartographic Base Map; Indicators; Operational Research.

1. INTRODUÇÃO

1.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS

Os recursos da informática disponibilizados nas últimas décadas possibilitaram uma expressiva ampliação do uso da Cartografia. Contudo, algumas deficiências no processo de construção e uso da Base Cartográfica têm permanecido e, ainda, potencializados devido à ampliação da gama de usuários. Assim, entende-se como necessária a revisão de alguns conceitos empíricos e ainda subjetivos que estão presentes no processo de construção da Base Cartográfica.

Pretende-se com este projeto, o estabelecimento de uma metodologia que ajude o usuário da Cartografia (por exemplo: Prefeitura), solicitar e utilizar produtos cartográficos mais adequados às suas necessidades. Através do estudo de definições relativas aos conceitos empregados na construção da Base Cartográfica, pretende-se extrair medidas, ou seja, valores quantificadores a estes conceitos para viabilizar a Otimização do Sistema de Mapeamento. Estas *medidas* deverão ser feitas de modo independente da época, da espécie ou do tema cartográfico em que se inserem.

No contexto do usuário da Cartografia, se reconhece a existência de restrições e ganhos num processo de mapeamento tal que se faz desejável arranjar estas questões para possibilitar um equilíbrio entre os benefícios desejáveis e a redução das injunções limitantes do processo. Uma vez estabelecidas as questões relevantes ao processo de mapeamento, agora, mais adequadamente nomeadas como parâmetros, serão classificados segundo a possibilidade de medição inerente a cada um deles. Assim, os parâmetros que já possuem meios estabelecidos e aceitos cientificamente para receberem uma medida em valores numéricos serão chamados de parâmetros objetivos, e serão tratados como sendo os dados para a solução do problema proposto. Por outro lado, as incógnitas do problema serão os parâmetros classificados como subjetivos.

Através de estudos referentes à conceituação de cada um dos parâmetros e a relação existente entre eles, algumas técnicas foram analisadas, e dentre estas, a criação de Indicadores mostraram-se favoráveis ao alcance dos objetivos pretendidos. Uma vez, tendo-se determinado estes Indicadores, técnicas de Pesquisa Operacional (Programação Linear) serão empregadas para uma solução de Otimização do Sistema de Mapeamento.

1.2. JUSTIFICATIVAS

Considera-se importante ressaltar como uma das justificativas deste trabalho, a real diversidade de profissionais que hoje compõem o universo dos usuários da Cartografia. Os restritos ou até mesmo ausentes conhecimentos cartográficos dos diversos usuários de produtos cartográficos, tornam problemática a tarefa de

elaboração das especificações técnicas na solicitação do mapeamento, principalmente ao receptor do mapeamento, ou seja, do usuário que certamente experimentará frustrações. Diante desta realidade, o engenheiro cartógrafo não pode estar dissociado das necessidades e objetivos de cada um dos usuários, quando a cada um deles caberá uma solução diferenciada. Hoje, ainda se encontram mapas que apesar de possuírem alta qualidade e grande quantidade de informações, não atendem, as necessidades básicas do usuário. Enquanto que outros, já demasiadamente simplificados, acabam no abandono por impossibilidade de uso. Tanto em um caso como em outro, ocorrem proibitivos desperdícios de recursos que, além das conseqüências diretas deste fato, desencorajam novos investimentos nas atividades de mapeamento.

2. CONSIDERAÇÕES SOBRE INDICADORES

2.1. CONCEITUAÇÃO E UTILIDADE

Por Indicadores, entende-se ser o elemento formado por um agrupamento e combinação de variáveis de modo a produzir uma nova entidade que possui um significado de interesse particular. Por Indicadores ainda pode-se entender como sendo índices quantificadores de determinado conceito, fato, ou fenômeno que servem para avaliar, ou seja, atribuir valor a alguma coisa de modo a possibilitar uma comparação relativa e entendimento de sua grandeza.

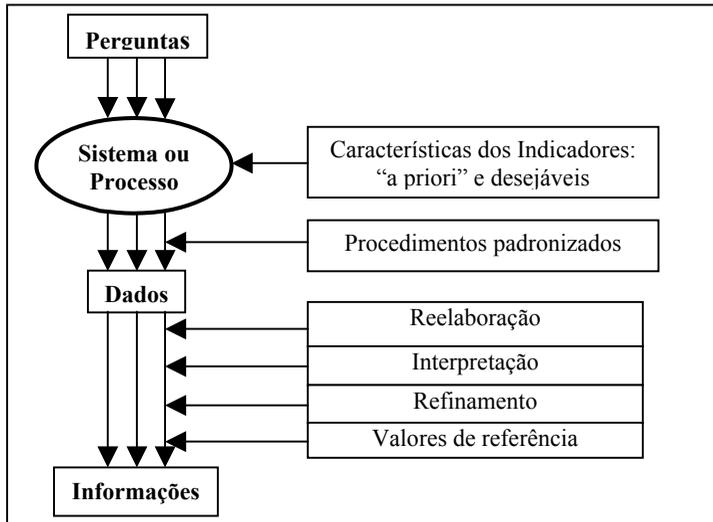
Indicadores têm sido largamente utilizados nas mais diversas áreas do conhecimento. Porém, seu uso mais conhecido está em alguns temas, aceitos universalmente, como *Índice de Desenvolvimento Humano – IDH*; *Índice de Condições de Vida – ICV*; *Indicador de Desenvolvimento Sustentável – IDS*, dentre outros. Uma das grandes forças dos Indicadores está, principalmente, na possibilidade de se efetuar comparações entre questões subjetivas pertencentes a diferentes realidades.

A construção de Indicadores quantitativos obedece a uma seqüência de procedimentos que pode ser representada conforme mostra a Figura 1. Segundo TRZESNIAK (1998) o diagrama da Figura 1 ilustra uma parte da metodologia da ciência ligada ao desenvolvimento de Indicadores. Na parte central encontra-se o processo de interesse, o qual deve ser observado e estudado. Sob o ponto de vista do pesquisador, estudar este processo significa dirigir-lhe algumas perguntas, tais como: “Como você funciona? Em seu comportamento existe uma regra ou uma organização ao alcance de minha lógica?” As respostas surgirão das informações que se conseguir obter da observação do sistema.

Ainda, segundo o mesmo autor, TRZESNIAK (1998), na construção de Indicadores quantitativos, pelo menos duas metas são relevantes, as quais estão contempladas pelos quadros laterais do diagrama da Figura 1:

- “Quebrar a distância entre o topo e a base do diagrama em trechos menores através do estabelecimento de critérios para análise dos Indicadores em fases diversas do seu desenvolvimento.”
- “Já na concepção do Indicador, sejam observados os aspectos básicos necessários para que ele seja bom ou, pelo menos, promissor, bem como que se evitem vícios básicos que possam, futuramente, vir a limitar sua validade ou amplitude.”

FIGURA 01 – CONSTRUÇÃO DE INDICADORES. FONTE: TRZESNIAK (1998) P. 161.



2.2. INDICADORES PARA A CONSTRUÇÃO DE BASE CARTOGRÁFICA

Para o estabelecimento de Indicadores à construção de Bases Cartográficas, consideram-se alguns conceitos que podem ser previamente classificados segundo a possibilidade de serem associados a valores numéricos quantificadores. Assim, as questões referentes à *Escala*, *Acuracidade*, *Legibilidade*, *Nível de generalização conceitual*, *Frequência de uso pelo usuário*, e *Grau de desatualização*, podem ser classificados como **Parâmetros Objetivos**, pois, estão fundamentadas e conseqüentemente pode-se atribuir-lhes valores numéricos, próprios, capazes de fornecerem subsídios para a quantificação de cada uma delas. Já as questões relativas à *Qualidade* do produto cartográfico, sua *Adequabilidade*, *Grau de necessidade de mapeamento* (de cada feição), e *Prioridade*, são classificados como **Parâmetros Subjetivos**, e através de estudos referentes a sua conceituação e relação

existente entre eles, se determinarão os Indicadores, incógnitas do Sistema de Mapeamento, aqui considerado.

3. DESENVOLVIMENTO

Considerando-se uma Prefeitura como usuário de produtos cartográficos, sabe-se que diversas secretarias se utilizam de produtos cartográficos em diferentes escalas e para diferentes objetivos. Para que se processe a manutenção do material cartográfico, é necessário um projeto de coleta e atualização dos dados. Porém, a cada secretaria o volume de dados, a prioridade, e a eventual necessidade de um remapeamento ocorrem em diferentes magnitudes, e conseqüentemente o gerenciamento destes recursos e necessidades passam a ser tarefa complexa e, por vezes, bastante onerosas. Assim, entende-se como desejável um processo, tanto quanto possível automatizado, para desempenhar o gerenciamento de informações cartográficas capaz de ser suficientemente abrangente para contemplar todos os objetivos, e, ao mesmo tempo, que seja específico para considerar eficientemente a respectiva e adequada dosagem de informação.

Uma das questões de maior dificuldade em Cartografia é avaliar a qualidade de um mapa ou de uma certa feição mapeada. Porém, esta questão é de fundamental importância para o desenvolvimento de todo o processo de mapeamento, quer seja ele total ou parcial. Assim, apresenta-se, inicialmente, a necessidade de se conhecer mais profundamente os conceitos envolvidos na questão da *qualidade* cartográfica.

3.1. CONSIDERAÇÕES RELATIVAS À QUALIDADE CARTOGRÁFICA

Segundo citações de SIMPLE, J (2001), W. Edwards Deming defini qualidade simplesmente como “encantar o cliente”. Enquanto que J.M. Juran define qualidade como sendo “satisfação do cliente”. O que torna aceitável se entender por *qualidade*, um padrão tal que varia segundo as expectativas do cliente. Nesta idéia também está implícito o fato de que para um mesmo produto ou serviço pode se ter muito mais ou muito menos qualidade dependendo do uso que se fará deste produto ou serviço. O Padrão Internacional 8402 (ISSO 1986) elaborou uma definição que descreve *qualidade* como “... a totalidade de feições e características de um produto ou serviço que garantem em suas capacidades a satisfação das necessidades explícitas ou implícitas.” Cartógrafos têm adotado este conceito em princípios de qualidade para informações geográficas digitais, prescrito pela International Organization for Standardization (ISO) Technical Committee on Geographic Information/Geomatics. O padrão ISO-19113 encaminhará a definição do esquema para qualidade aplicável aos dados geográficos (ISO 2001:1), enquanto que ISO-19114 encaminhará o desenvolvimento de padrões para os métodos de especificação/avaliação da qualidade de dados (ISO 2001:2).

Para KARNAUKHOVA, E. & LOCK, C. (2001), qualidade do mapa é um conjunto de propriedades, que garantem a capacidade do mapa de satisfazer as necessidades dos seus usuários. Cada uma das características do mapa, na realidade representa uma propriedade complexa. A confiabilidade do mapa, por exemplo, é uma propriedade complexa, que caracteriza a sua capacidade de corresponder às expectativas do usuário em desenvolver plenamente as suas tarefas. A confiabilidade depende da complexidade, veracidade, atualidade, precisão dos métodos de representação cartográfica, da qualidade do projeto cartográfico e de outros fatores.

No Brasil, o controle de qualidade da Cartografia Nacional, referente ao mapeamento topográfico, se dá através do índice denominado Padrão de Exatidão Cartográfico – PEC. Conforme CINTRA, J.P. & NERO, M.A. (2001), no Brasil, desde o decreto-lei número 89.817, publicado no Diário Oficial da União em 20/06/84, existem normas que regulamentam e classificam os documentos cartográficos quanto à sua qualidade geométrica. Esse documento legal (a partir do artigo 8º), que estabelece a forma de classificar um documento cartográfico segundo sua qualidade geométrica, divide as cartas em 3 categorias ou classes (A, B, C) quanto a sua acuracidade.

Diferentes valores do PEC, conforme resumido na Tabela 1, devem ser interpretados em conjunto com os seguintes requisitos:

- Noventa por cento dos pontos bem definidos numa carta, quando testados no terreno, não deverão apresentar erro superior ao PEC planimétrico estabelecido.
- Noventa por cento dos pontos isolados de altitude, obtidos por interpolação de curvas de nível, quando testados no terreno, não deverão apresentar erro superior ao PEC altimétrico estabelecido.

Assim, o PEC é um indicador estatístico de dispersão, relativo a 90% de probabilidade, que define a acurácia de documentos cartográficos. Essa probabilidade corresponde a 1,6449 vezes o Erro-Padrão ($PEC=1,6449*EP$). Essa proporção verifica-se na Tabela 1, a menos de diferenças de arredondamento. Vale destacar que esse decreto considera equivalentes os termos Erro-Padrão, Desvio-Padrão e Erro-Médio-Quadrático.

TABELA 01 – VALORES DO PEC E DO EP

CLASSE	Planimetria		Altimetria	
	PEC	EP	PEC	EP
A	0,5 mm	0,3 mm	1/2 Eq	1/3 Eq
B	0,8 mm	0,5 mm	3/5 Eq	2/5 Eq
C	1,0 mm	0,6 mm	3/4 Eq	1/2 Eq

O artigo 10º estabelece que é obrigatória a indicação da classe do mapa no rodapé da folha, ficando o produtor responsável pela fidelidade da classificação. Caso os documentos cartográficos não atinjam a especificação mínima (classe C), deverá ser incluída no rodapé da folha a indicação do Erro-Padrão resultante do processo de classificação.

Segundo MOORE, L. *at all*, a U.S. Geological Survey (USGS), um dos órgãos oficiais dos Estados Unidos responsáveis pelo mapeamento do País, teve, dentre suas responsabilidades a realização e manutenção do mapeamento topográfico na escala 1:24.000 (enquadramento de 7,5 minutos em Coordenadas Geodésicas). Esse programa consistiu de novo mapeamento que teve início em meados da década de 40 (1940) e estendeu-se até o início da década de 90 (1990). Reúne aproximadamente 57.000 cartas e é a única série de mapas uniforme que cobre toda a área dos Estados Unidos. Recentemente a National Mapping Division (NMD) do USGS esteve revisando e atualizando esses mapas, e constatou que alguns mapas realmente não alcançaram o padrão de qualidade estabelecido pelo National Map Accuracy Standard (NMAS).

Resumidamente, os padrões de qualidade estabelecidos pelo NMAS são os seguintes:

- Acuracidade Horizontal – aceita-se menos de 10% dos pontos testados com erro maior que 1/30 polegadas (0,85mm) para mapas em escalas maiores que 1:20.000, ou 1/50 polegadas (0,51mm) para mapas em escala 1:20.000 ou menores, medidas na escala de publicação. Esses limites de acuracidade deverão ser aplicados para todos os casos de posição de pontos bem definidos. Pontos bem definidos são todos aqueles facilmente visíveis ou reconhecíveis no terreno, tais como: monumentos ou marcos, limite de propriedade, inteseccção de vias, estrada de ferro, canto de construção, etc.
- Acuracidade Vertical – aceita-se que menos de 10% dos pontos de elevação testados tenham erro maior que a metade do intervalo dos contornos, ou seja, metade da equidistância. (U.S. BUREAU OF THE BUDGET)

No projeto de revisão dos mapas topográficos realizado pelo USGS, alguns limites foram estabelecidos, como por exemplo:

- Os erros referem-se à posição absoluta e não à posição relativa no local.
- Os erros devem estar dentro de um alcance de 0.02 a 0.10 polegadas (0,5mm a 2,5mm) no mapa (1:24.000), ou 40 a 200 pés (12,2m a 60,96m) no terreno.
- Estão associados com tecnologias de mapeamento específico, dados particulares, ou ambos.

3.2. ESTABELECIMENTO DE LIMITES PADRÃO

Considerando-se a imposição dos limites acima descritos, poder-se-a aqui estabelecer alguns critérios para a determinação de alguns conceitos e parâmetros. Segundo a classificação, dos parâmetros, relativa à atribuição de valores numéricos capazes de indicar uma medida, tem-se:

1. Relação dos **Parâmetros Objetivos (Mensuráveis)** e as respectivas considerações:
 - Escala (ESC)
 - o Desatualização (feição / tempo)
 - Acuracidade (PEC)
 - o ISO sobre qualidade cartográfica
 - Legibilidade (LEG)
 - o Número de símbolos diferentes representados
 - o Densidade de linhas
 - Nível de generalização conceitual (QT)
 - o Relacionado com a escala
 - Frequência de uso / por feição (FU)
 - Grau de desatualização (AT)
 - o Data do mapeamento e suas implicações
 - o Índice de crescimento da região (IQUA, IDS).
2. Relação dos **Parâmetros Subjetivos** e a respectiva dependência com outros Parâmetros:
 - Qualidade (ESC, PEC, LEG, QT, AT)
 - Adequabilidade (ESC, PEC, LEG, QT, FU, AT)
 - Grau de necessidade de mapeamento de cada feição (FU / AT)
 - Prioridades (Ordem – QL / FU / AT)

Cada um dos Parâmetros, Objetivos e Subjetivos, será, em fases posteriores deste Projeto, conceituado, estudado e estruturado de modo que possa receber um valor numérico quantizador do seu respectivo significado. Observa-se, no entanto, que o parâmetro referente à Atualização (AT) é o que mais frequentemente será utilizado na determinação de outros parâmetros. Assim, é conveniente iniciar o estudo dos parâmetros, pelo de Atualização. Neste trabalho este estudo será apenas introdutório, pelo fato de que as pesquisas ainda estão sendo desenvolvidas a partir deste ponto.

3.2.1. Definição do Grau de Desatualização

Como Desatualização Cartográfica entende-se que o mapeamento pode ser entendido como se fosse um retrato de uma porção do espaço geográfico. Assim,

qualquer alteração ocasionada neste espaço após ter sido “retratado” caracteriza uma desatualização no mapeamento.

Sabendo-se que o espaço geográfico está em constante mutação, quer seja pelos agentes naturais (chuvas, ventos, etc.) ou pelos agentes externos como a ação dos homens, animais e plantas, podemos entender que qualquer mapa sempre apresenta um certo nível de desatualização. Porém, para os objetivos do mapeamento em si, apenas será caracterizada uma desatualização cartográfica, quando a utilização das informações mapeadas implicarem em prejuízo decorrente das mudanças ocorridas no meio físico. Isto implica entender que as alterações do meio físico nem sempre irão sugerir a necessidade de uma atualização cartográfica. Isto é, as alterações do meio podem ser classificadas em pelo menos quatro categorias com relação à necessidade de atualização cartográfica segundo os objetivos do mapeamento.

1- Não representativa – indiferente;

Estas alterações se referem às informações que não constam na carta. Ou seja, as alterações do meio ocorreram nas feições que não foram mapeadas.

2- Representativa, porém, insignificante;

Estas alterações se referem às informações constantes na carta, porém, as alterações não atingiram níveis considerados prejudiciais à sua utilização. Por exemplo, no caso de um Mapa Rodoviário, pequenas alterações em feições como vegetação ou edificações, em nada irão alterar o principal objetivo da Carta que se refere às informações relativas às vias mapeadas

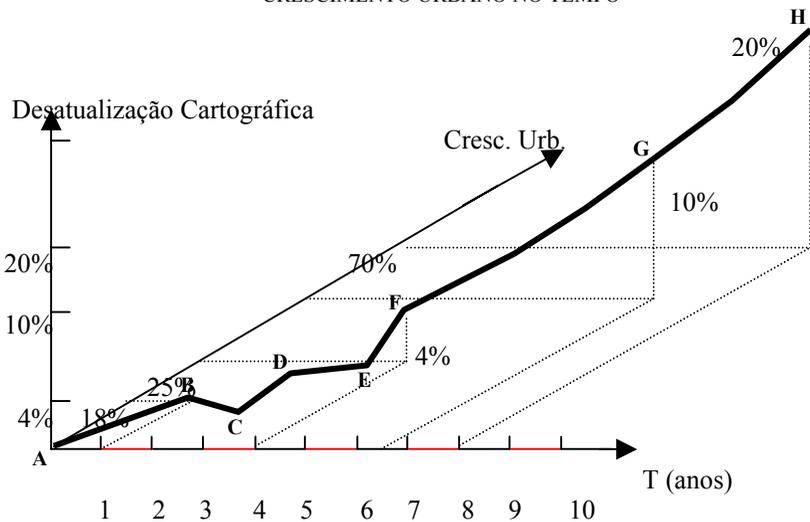
3- Representativa e significantes;

Neste caso, as alterações ocorreram nas informações mapeadas e de interesse relevante na utilização da Carta, porém, sua magnitude ainda pode ser considerada pequena nas tarefas que se utilizam destas informações. Ou seja, considerando o exemplo do Mapa Rodoviário, que proporciona informações a respeito de todas as vias existentes na região contemplada pelo Mapa, poderemos considerar que o aparecimento de algumas poucas novas vias secundárias na região pode não comprometer os serviços dependentes das informações extraídas do Mapa. Embora a representação destas novas vias secundárias faça parte do objetivo central do Mapa, elas não justificariam a necessidade de uma atualização cartográfica até que a quantidade ou utilização destas, venha a ser relevante para as tarefas dependentes do Mapa. Desta mesma forma constata-se como desnecessária a atualização cartográfica para até um certo nível de crescimento da população urbana. O gráfico da Figura 2, abaixo, ilustra este aspecto: Do ponto A até o ponto B, depois até o ponto C, D e E mostra a ocorrência de alterações relativas ao crescimento da população urbana, mas, sem necessidade de atualização cartográfica. Pois, a alteração do meio pode não ser significativa na execução das tarefas dependentes das informações cartográficas.

4- Representativa e imperativa.

Finalmente para este caso, as alterações do meio físico, ocorreram nas informações mapeadas de interesse relevante na utilização da Carta e com magnitude considerada relevante para as tarefas que se utilizam das informações mapeadas. Ou seja, se estas tarefas continuarem a ser executadas sem considerar as alterações ocorridas no meio, elas não poderão atingir o nível de aceitação esperado. Para o exemplo do crescimento urbano, este caso se dá a partir do ponto E mostrado na Figura 2. Ou seja, a partir do ponto E, o crescimento populacional já provocou uma alteração tal no meio, que passou a ser relevante às tarefas dependentes das informações mapeadas, e então, se inicia o reconhecimento da necessidade de atualização cartográfica. Assim, entende-se que o ponto (E) de reconhecimento da necessidade de atualização cartográfica depende fundamentalmente do uso que se faz do Mapa.

FIGURA 02 - CURVA DA DESATUALIZAÇÃO CARTOGRÁFICA EM RELAÇÃO AO CRESCIMENTO URBANO NO TEMPO



Portanto, para este estudo, os grupos 1 e 2 são aqui, desconsiderados. Enquanto que os grupos 3 e 4, devem ser, na seqüência das pesquisas, cuidadosamente analisados e quantificados segundo os objetivos do mapeamento.

4. CONSIDERAÇÕES ÀS PRÓXIMAS FASES DO PROJETO

Na seqüência do desenvolvimento deste projeto, serão estudados e analisados cada um dos parâmetros e estabelecidas as relações existentes entre eles para se estabelecer os Indicadores referentes à Qualidade, Adequabilidade, Grau da necessidade de mapeamento e Prioridades. Com os Indicadores estabelecidos, o projeto finalizar-se-a com a aplicação destes, num Sistema de Otimização.

4.1. SISTEMA DE OTIMIZAÇÃO

Na seqüência do desenvolvimento deste projeto, serão estudados e analisados cada um dos parâmetros e estabelecidas as relações existentes entre eles para se estabelecer os Indicadores referentes à Qualidade, Adequabilidade, Grau da necessidade de mapeamento e Prioridades. Com os Indicadores estabelecidos, o projeto finalizar-se-a com a aplicação destes, num Sistema de Otimização.

Segundo RAMALHETE, *et al* (1984), tomar decisões constitui-se uma tarefa básica da gestão. Decidir é escolher ou optar entre alternativas viáveis, também designadas por cursos de ação. Este processo ocorre sempre que o decisor enfrenta problemas, que podem ser de rotina ou de exceção. O decisor, por vezes de forma inconsciente, define o problema e formula o objetivo, considera as limitações com que se defronta, interna e externamente, e avalia as alternativas possíveis; só então escolhe o “melhor” curso de ação, isto é, aquele que conduz à solução ótima.

Ainda, segundo RAMALHETE, *et al* (1984), o processo de decisão pode ser mais ou menos formalizado e basear-se numa abordagem qualitativa ou quantitativa. O uso da perspectiva qualitativa apela freqüentemente à intuição e à experiência, própria ou alheia, e revela-se por vezes suficiente para a tomada de decisões, especialmente na resolução de problemas simples. A complexidade crescente dos problemas de gestão, associada ao crescimento das unidades econômicas em universos cada vez mais interdependentes, faz com que as conseqüências associadas às decisões assumam cada vez maior impacto, quer individualmente ou na sociedade em que se insere. Neste caso, surge naturalmente a necessidade de uma abordagem segundo uma ótica científica, o que, quase sempre, exige o recurso a métodos quantitativos.

Nesta linha de evolução se enquadra a Pesquisa Operacional – ramo científico autônomo de surgimento recente (2^a. Grande Guerra) – ao fornecer uma abordagem sistemática e racional, baseada essencialmente em técnicas quantitativas, aos problemas de controle de sistemas e que exigem a tomada de decisões tendentes à obtenção do melhor resultado para o sistema à luz da informação disponível. A definição de Pesquisa Operacional envolve as seguintes características básicas: orientação sistêmica, aplicação do método científico, e recurso a diferentes disciplinas científicas.

Em especial a Programação Linear constitui-se um dos ramos mais desenvolvidos e mais utilizados da Pesquisa Operacional. O seu objetivo de estudo é a atividade humana dirigida à pretensão de satisfazer, da melhor forma, determinado objetivo, sendo que existem limitações (restrições) ao funcionamento dessa atividade. Assim, depara-se com um problema de programação matemática quando o objetivo e as restrições podem ser traduzidas por relações funcionais, que quando lineares constituem um problema de programação linear.

Segundo PUCCINI (1972), a Programação Linear é uma técnica de otimização largamente utilizada na resolução de problemas cujos modelos são representados por expressões lineares. A sua grande difusão deve-se à linearidade do modelo, tornando-a de fácil aplicação em uma considerável quantidade de problemas.

Os problemas de programação linear referem-se à distribuição eficiente de recursos limitados entre atividades competitivas, com a finalidade de atender a um determinado objetivo, por exemplo, maximização de lucros ou minimização de custos. Na programação linear, esse objetivo é expresso por uma função linear a qual dá-se o nome de função objetiva (PUCCINI 1972).

Necessário é dizer quais as atividades que consomem cada recurso e a respectiva proporção em que é feito este consumo. Essas informações passam a construir equações ou inequações lineares, uma para cada recurso. A estas equações ou inequações lineares dá-se o nome de restrições do modelo.

Geralmente são inúmeras as maneiras de distribuir os escassos recursos entre as diversas atividades, bastando para isso que essas distribuições sejam coerentes com as equações de consumo de cada recurso, ou seja, que elas satisfaçam as restrições do problema. Entretanto, deseja-se achar aquela distribuição que satisfaça as restrições do problema, e que alcance o objetivo desejado, isto é, que maximize o lucro ou minimize o custo. Em outras palavras, encontre a solução ótima. Uma vez obtido o modelo linear, constituído pela função objetiva (linear) e pelas restrições lineares, a programação linear se incumbem de achar a sua solução ótima.

Os quatro modelos mais conhecidos de programação linear, segundo PUCCINI (1976), são denominados de: Problema da Análise das Atividades; Problema da Dieta; Problema do Transporte; e Problema da Designação.

5. CONCLUSÃO

Os avanços da Cartografia e a ampliação de seu uso trazem às considerações relevantes para pesquisas científicas, diversos aspectos considerados, em décadas passadas, como já definidos e estáveis. Porém, dado o exposto, pode-se perceber que na realidade dos avanços das ciências, continuamente fatos conhecidos necessitam ser reanalisados sob o novo contexto.

Os parâmetros considerados relevantes ao Projeto de Base Cartográfica contém conceitos subjetivos que deverão ser expostos a fundamentos científicos capazes de

quantificá-los. Para se buscar uma solução sistematizado ao processo de mapeamento, é necessário poder tratar seus parâmetros matematicamente. A grande vantagem desta solução sistematizada é a de oferecer embasamento científico, e portanto seguro, aos tomadores de decisão.

Os desafios contemplados na realização deste projeto são grandes, tanto em volume como em dificuldades inerentes à sua pesquisa e desenvolvimento. Porém, é possível antever benefícios de grande significado a toda sociedade, tais que estimulam os esforços necessários a sua realização.

6. REFERÊNCIAS

CINTRA, J. P., NERO, M. A. **Documentos Cartográficos**: Determinação do PEC. Anais, XX Congresso Brasileiro de Cartografia. Porto Alegre, RGS, 2001. Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto. Rio de Janeiro, RJ. 2001.

KARNAUKHOVA, E., LOCH, C. - **Alguns Problemas Atuais do Mapeamento Digital**. Anais, XX Congresso Brasileiro de Cartografia. Porto Alegre, RGS, 2001. Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto. Rio de Janeiro, RJ. 2001.

MOORE, L.; HARRIS, W.; KOCHIS, T. **Raster Image Warping for Geométric Correction of Cartographic Bases**. U.S. Geological Survey, Mid-Continent Mapping Center. Disponível em <<http://www.usgs.gov/>> Acesso em 2002.

PUCCINI, A. L. **Introdução à Programação Linear**. Rio de Janeiro. Ed. Livros Técnicos e Científicos Editora S.A. 1976.

RAMALHETE, M; GUERREIRO, J.; MAGALHÃES, A. **Programação Linear**. Ed. McGraw-Hill de Portugal. Lda. 1984.

SIMLEY, J. **Improving the Quality of Mass Produced Maps**. Cartography and Geographic Information Science, Vol.28, No.2, 97-110, 2001.

TRZESNIAK, P. **Indicadores quantitativos: reflexões que antecedem seu estabelecimento**. Ci. Inf., Brasília. V.27, n.2, p.159 – 164, mai/ago 1998. Disponível em: <www.ibict.br/cionline/270298/27029808.pdf> Acessado em 21 set. 2002.

U.S. BUREAU OF THE BUDGET. United States National Map Accuracy Standards. Disponível em < <http://www.state.il.us/budget/>> Acesso em 2002.

ESTUDO COMPARATIVO ENTRE KRIGAGEM LINEAR E KRIGAGEM NÃO LINEAR PARA APLICAÇÃO EM AGRICULTURA DE PRECISÃO

Jaqueline Vicente¹
Daniel Luis de Lima⁴
Eduardo Alves da Silva³
Humberto Emmanuel Schmidt Oliveira²
Nilton Nobuhiro Imai¹
Vilma Mayumi Tachibana¹

- 1 Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas – vicente,nnimai,vilma@prudente.unesp.br
- 2 Universidade Estadual Paulista – humbertoemmanuel@yahoo.com.br
- 3 CNPSo – Embrapa – edusilva@fca.unesp.br
- 4 Curso de Engenharia Cartográfica – dll@prudente.unesp.br

RESUMO

Neste trabalho foram aplicadas e comparadas técnicas de interpolação por krigagem, visando avaliar os resultados obtidos em cada uma delas e verificar qual a mais adequada para modelar dados e, assim, produzir informações espaciais adequadas ao gerenciamento localizado da produção. A fim de analisar as possíveis vantagens da krigagem indicadora sobre os processos de interpolação por krigagem ordinária isotrópica e anisotrópica dos dados de interesse para a agricultura de precisão, foi feito um estudo de caso com dados de rendimento da soja. As comparações entre os mapas gerados através dos três métodos de krigagem e o mapa de verdade terrestre resultaram em valores de índice global kappa, cujas diferenças são menores que 0,007. O processo de krigagem indicadora permite um elevado grau de automação, minimizando a participação do analista. Os resultados obtidos conduzem o uso da krigagem indicadora como a técnica de interpolação mais apropriada para ser disponibilizada em Sistemas de Informação Geográfica para Agricultura de Precisão.

Palavras-chave: Krigagem linear; Krigagem indicadora; Anisotropia

ABSTRACT

The aim of this work is to compare kriging techniques, looking for to assess which one is more suitable to model data to produce usefull spatial information to the located management of the resources. In order to analyze the possible advantages of indicator kriging or ordinary isotropic and anisotropic kriging to Precision Farming, a case study with soybean yield data was performed. A comparison among maps generated by three kriging methods and the actual map of soybean yield were performed and the global kappa indexes were calculated. The differences among the computed indexes are smaller than 0,07. The process of indicator kriging allows a high degree of automation. So, the participation of the analyst could be reduced. Therefore, it becomes easier to perform by a person who hasn't any skills to treat spatial data analysis and kriging. Thus, the results showed that new researches to improve automation process of surface reconstruction should consider the indicator kriging.

Keywords: Linear kriging; Indicator kriging; Anisotropy

1. INTRODUÇÃO

1.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS

Na agricultura de precisão necessita-se que as amostras sejam coletadas em campo, o que para uma grande área se torna difícil e dispendioso. Por exemplo, o rendimento de uma determinada cultura em uma área de 1000 m². Assim, se torna indispensável realizar inferências de dados em locais onde não foram obtidas informações, a partir do conhecimento do fenômeno. Para isso é necessária a utilização de ferramentas que se aproximem ao máximo do melhor resultado. A Geoestatística é uma destas ferramentas, pois permite estimar dados em locais não amostrados levando em conta o comportamento espacial de fenômeno e minimizando o erro desta estimativa.

Como uma de suas estratégias principais, a agricultura de precisão fundamenta-se na coleta sistemática e o processamento de dados georreferenciados para produzir informações que permitam manter os processos produtivos sob controle, orientando-os ao aprimoramento contínuo. Atualmente, as técnicas de interpolação têm sido utilizadas em agricultura de precisão para inferir valores de atributos em locais não amostrados. A técnica mais utilizada é o processo de krigagem, que é um método semelhante ao de interpolação por média móvel ponderada, porém na krigagem os pesos dados a cada observação são determinados a partir de uma pré-análise espacial utilizando semivariogramas experimentais.

O processo de krigagem é subdividido em diversos tipos, porém nesse trabalho

são tratados apenas dois deles: krigagem ordinária e indicativa.

Foram realizados os processos de krigagem ordinária isotrópica, krigagem ordinária anisotrópica e krigagem indicativa isotrópica visando comparar os resultados obtidos em cada um dos processos e verificar qual o mais adequado para modelar dados de rendimento da soja e, assim, produzir informações espaciais adequadas ao gerenciamento localizado da produção. A pesquisa realizada visa fornecer subsídios para desenvolver e aprimorar um conjunto de procedimentos destinados à aplicação da agricultura de precisão em sistemas de produção de soja no Estado do Paraná.

A fim de analisar as possíveis vantagens da krigagem indicativa sobre os processos de interpolação por krigagem ordinária isotrópica e anisotrópica dos dados de interesse para a agricultura de precisão, decidiu-se realizar um estudo de caso com dados de rendimento da soja obtidos de uma área experimental localizada no Município de Palotina/PR. Os dados foram obtidos de uma colhedeira instrumentada com um monitor de rendimento (PF3000-AgLeader) e um receptor GPS, o qual realiza posicionamento com a tecnologia DGPS recebendo dados de correção por satélite. Do conjunto de dados extraiu-se uma amostra para ser submetida aos processos de interpolação. Foi aplicado o procedimento de amostragem sistemática não-alinhada ou regular extratificada por adequar-se melhor ao conjunto de dados disponível. A avaliação dos resultados obtidos pelas interpolações foi realizada com base em matrizes de erro produzidas pela comparação dos dados interpolados da amostra extraída e um mapa de rendimento gerado a partir do conjunto inicial de dados, o qual foi considerado como verdade.

2. DEPENDÊNCIA ESPACIAL E INTERPOLADORES

2.1. VARIÁVEIS REGIONALIZADAS

Uma variável regionalizada é uma variável distribuída no espaço e no tempo, utilizada para representar um fenômeno natural.

De acordo com Sturaro (1993), uma variável pode ser considerada regionalizada, se a mesma apresentar uma distribuição no espaço, juntamente com um determinado grau de correlação espacial.

A continuidade espacial apresentada pelas variáveis regionalizadas é representada por funções numéricas ordinárias que assumem valores diferentes a cada ponto no espaço e assim descrevem o fenômeno natural. A continuidade espacial se dá pelo fato dessas variáveis apresentarem valores similares em dois pontos próximos (vizinhos) e valores mais diferentes à medida que a distância entre eles aumenta. As variáveis regionalizadas apresentam atributos como: localização, anisotropia e transição.

De acordo com Burrough (1987), a variação espacial de uma variável

regionalizada pode ser expressa pela soma de três componentes: uma componente estrutural, que está associada a uma valor médio constante ou a uma tendência constante; uma componente aleatória, espacialmente correlacionada e um ruído aleatório ou um erro residual.

Sendo x uma posição em uma, duas ou três dimensões, o valor da variável Z na posição x é dada pela equação (01) abaixo:

$$Z(x) = m(x) + \varepsilon'(x) + \varepsilon''(x) \quad (01)$$

onde:

- $m(x)$ – a função determinística (função que modela a superfície) que descreve a componente estrutural de Z em x ;
- $\varepsilon'(x)$ – o termo estocástico, o qual varia localmente e depende espacialmente de $m(x)$;
- $\varepsilon''(x)$ – o ruído aleatório não correlacionado, com distribuição normal com média zero e variância σ^2 .

Segundo Isaaks & Srivastava (1989), em alguns conjuntos de dados os valores dos dados são mais contínuos ao longo de certas direções do que em outras, essa variação da continuidade espacial é denominada de anisotropia.

Existem dois tipos de anisotropia, a *anisotropia geométrica* e a *anisotropia zonal*.

Em um conjunto de variogramas direcionais que mostram a mudança de alcance e patamar com as mudanças de direção, um identifica o eixo de anisotropia. Isto é feito para identificar o alcance máximo e mínimo, no caso da anisotropia geométrica e o patamar máximo e mínimo, no caso da anisotropia zonal.

2.2. O ESTIMADOR DE KRIGAGEM

A krigagem é um conjunto de técnicas de regressão linear generalizadas para minimizar uma variância de estimação a partir de um modelo de covariância definido a priori, Detusch (1998).

O processo de krigagem estima um valor de um atributo, em uma posição u não amostrada, a partir de um conjunto de amostras vizinhas $z(u_\alpha)$, $\alpha = 1, \dots, n$. O método de krigagem é semelhante ao de interpolação por média móvel ponderada, porém na krigagem os pesos dados a cada observação são determinados a partir de uma pré-análise espacial utilizando semivariogramas experimentais.

A krigagem reúne diversos tipos de métodos de estimação, como: krigagem simples, ordinária, universal, indicativa, disjunta e cokrigagem. Porém este estudo só tratará de dois tipos: krigagem ordinária e indicativa.

A equação (02) apresentação a formulação para o estimador de krigagem ordinária:

$$z_o^*(u) = \sum_{\alpha=0}^n w_{o\alpha}(u) \cdot z(u) \quad (02)$$

onde:

- $Z_o^*(u)$ – variável a ser estimada na posição u ;
- $w_{o\alpha}(u)$ – ponderadores;
- $Z(u)$ – variável conhecida na posição u .

No caso da krigagem ordinária a variância determina qual o erro de cada valor de atributo estimado e está relacionada com a distribuição espacial das amostras, ou seja, depende apenas da distância e não dos valores dos atributos. Por isso, a variância da krigagem não deve ser usada como medida de incerteza do atributo.

A krigagem indicativa é um estimador de krigagem não linear, ou seja, um estimador de krigagem linear aplicado a um conjunto de dados que foram modificados segundo uma transformação gaussiana, lognormal ou outra (Isaaks & Srivastava, 1989). Na krigagem por indicação é necessária a realização de uma transformação não linear sobre o conjunto de dados amostrais $Z(u_\alpha)$, a qual é denominada *codificação por indicação*. A principal vantagem da krigagem por indicação é a de ser uma técnica não paramétrica, ou seja, nenhum tipo de distribuição para a variável aleatória (VA), é considerado a priori, o que possibilita uma estimativa da função de distribuição para a VA. Desta forma, permite a determinação de incertezas e a inferência de valores do atributo em locais não amostrados. Essa técnica também possibilita a modelagem de dados com grande variabilidade espacial.

A função distribuição acumulada, a fdac, $F(u; z|(n))$, modela a incerteza sobre os valores de $Z(u)$, em posições u não amostradas. A krigagem por indicação permite uma aproximação da fdac.

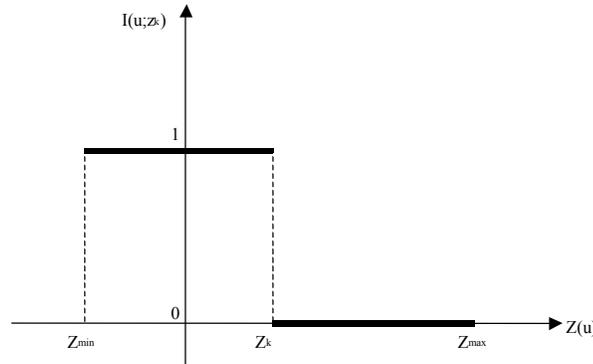
Como já foi dito anteriormente, a krigagem por indicação requer que os valores dos atributos sejam modificados segundo uma transformação não linear, a *codificação por indicação*. Um conjunto amostral por indicação $I(u=u_\alpha)$ para um valor de corte z_k é gerado através da codificação por indicação aplicada a um conjunto de dados $Z(u=u_\alpha)$ segundo a equação (03):

$$I(u; z_k) = \begin{cases} 1, & \text{se } Z(u) \leq z_k \\ 0, & \text{se } Z(u) > z_k \end{cases} \quad (03)$$

O processo de codificação por indicação aplicada sobre todo conjunto amostral para o valor de corte z_k , onde $k = 1, 2, \dots, k$, é mostrado na Figura 01:

FIGURA 01 - CODIFICAÇÃO POR INDICAÇÃO DOS DADOS AMOSTRAIS PARA O VALOR DE CORTE $Z=Z_k$

FONTE: ADAPTADO DE FELGUEIRAS (1999)



O modelo de variografia é obtido do conjunto amostral codificado com valores 0 e 1, o qual depende da existência mínima de 0's e 1's no conjunto de amostra.

O conjunto amostral codificado é utilizado para inferir valores para variáveis aleatórias por indicação $I(u; z_k)$, com $u \neq u_\alpha$.

Segundo Felgueiras (1999), a esperança condicional da VA numérica por indicação $I(u; z_k)$ é calculada por (04):

$$\begin{aligned} E\{I(u; z_k | (n))\} &= 1 \cdot \text{prob}\{I(u; z_k) = 1 / (n)\} + 0 \cdot \text{prob}\{I(u; z_k) = 0 / (n)\} \\ &= 1 \cdot \text{prob}\{I(u; z_k) = 1 / (n)\} = F^*(u; z_k | (n)) \end{aligned} \quad (04)$$

A formulação acima mostra que a esperança condicional de $I(u; z_k)$ fornece, para cada valor de corte z_k , uma estimativa da função de distribuição acumulada condicionada, $F^*(u; z_k | (n))$, para atributos numéricos.

A krigagem por indicação simples é dada pela equação (05) abaixo:

$$F^*_s(u; z_k | (n)) = \sum_{\alpha=1}^{n(u)} w_{S\alpha}(u; z_k) i(u_\alpha; z_k) + [1 - \sum_{\alpha=1}^{n(u)} w_{S\alpha}(u; z_k) F^*(z_k)] \quad (05)$$

onde:

- $F^*(z_k)$ é a média da função aleatória da região estacionária;
- $w_{S\alpha}(u; z_k)$ são os pesos determinados com o objetivo de minimizar a variância do erro da estimação.

No entanto, considerando que a somatória dos pesos seja igual a 1 têm-se a krigagem por indicação ordinária, que possui a seguinte equação de estimação:

$$F^*_{o}(u; z_k / (n)) = \sum_{\alpha=1}^{n(u)} w_{O\alpha}(u; z_k) i(u_{\alpha}; z_k) \quad (06)$$

Os pesos $w_{O\alpha}(u; z_k)$ são calculadas resolvendo o sistema de equações dado em (09):

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{\beta=1}^{n(u)} w_{O\beta}(u; z_k) C_1(h_{\alpha\beta}; z_k) + \phi(u; z_k) = C_1(h_{\alpha}; z_k) \\ \sum_{\beta=1}^{n(u)} w_{O\beta}(u; z_k) = 1 \end{array} \right. \quad (07)$$

Onde:

- $\phi(u; z_k)$ – é o multiplicador de *Lagrange*;
- $h_{\alpha\beta}$ - vetor separação definido pelas posições u_{α} e u_{β} ;
- h_{α} - vetor definido entre as posições u_{α} e u ;
- $C_1(h_{\alpha\beta}; z_k)$ – autocovariância dada por $h_{\alpha\beta}$;
- $C_1(h_{\alpha}; z_k)$ – autocovariância dada por h_{α} ;

As autocovariâncias são dadas pelos modelos variográficos teóricos definidos pelo conjunto I para o valor de corte z_k .

A krigagem por indicação, tanto simples quanto ordinária, fornece estimativas para cada valor de corte z_k , que é também a melhor estimativa mínima quadrática da esperança condicional da VA $I(u, z_k)$, segundo Felgueiras(1999). Calculando as estimativas para diversos valores de corte da fdac de $Z(u)$, tem-se uma aproximação discretizada da fdac real de $Z(u)$. Por isso, quanto maior for o número de cortes melhor será a aproximação.

3. EXPERIMENTOS

A fim de analisar as possíveis vantagens da krigagem indicativa sobre os processos de interpolação por krigagem ordinária isotrópica e anisotrópica dos dados de interesse para a agricultura de precisão, decidiu-se realizar um estudo de caso com dados de rendimento da soja obtidos de uma área experimental localizada no Município de Palotina. Os dados foram obtidos de uma colhedeira instrumentada com um monitor de rendimento (PF3000-AgLeader) e um receptor GPS, o qual realiza posicionamento com a tecnologia DGPS recebendo dados de correção por satélite. Os dados coletados durante a colheita de um campo experimental de 500 x 270 m constituem um conjunto de 6609 elementos. Desse conjunto de dados foi extraído um outro conjunto com 119 elementos amostrais. Adotou-se o procedimento de amostragem sistemática não-alinhada ou regular extratificada por

adequar-se melhor ao conjunto de dados disponível.

O conjunto amostral completo, com 6609 elementos amostrais é mostrado na Figura 02 e a amostra com 119 na Figura 03. O primeiro será usado como verdade para comparação dos resultados obtidos nos processos de krigagem ordinária isotrópica e anisotrópica e krigagem indicativa.

FIGURA 02 - CONJUNTO DE AMOSTRAS

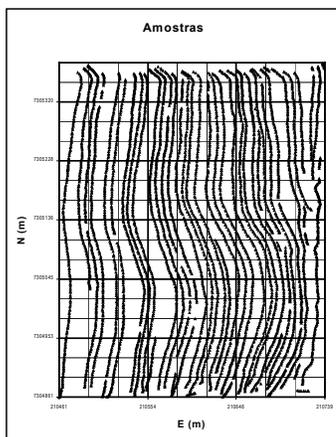
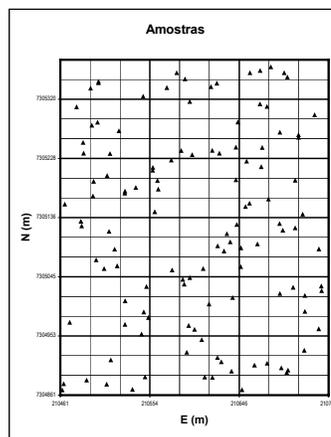


FIGURA 03 – CONJUNTO DE AMOSTRAS EXTRATIFICADAS



O rendimento da cultura constitui um indicador da interação das variáveis que podem limitá-lo. Assim na agricultura de precisão as regiões que devem ser analisados com maior grau de detalhamento devem ser aquelas cujo rendimento possa ser considerado baixo. Essa simplificação é realizada em função da elevada complexidade relacionada com esse diagnóstico. Com base nessas considerações, foi proposto um mapeamento do rendimento da soja em três classes procurando evitar um elevado grau de detalhamento temático incompatível com a complexidade da análise do mapa.

A fim de gerar um produto que possa servir como referência, é necessário que os dados da amostra completa sejam representados numa matriz de dimensões iguais aquelas produzidas nos processos de krigagem avaliados. Tal matriz possui resolução espacial de 5 por 5 m. Essa dimensão é compatível com a acurácia média esperada dos dados de posição fornecidos pela tecnologia WADGPS (Wide Area Differential Global Position System), geralmente adotado na agricultura de precisão.

Foi realizada uma interpolação pelo método inverso do quadrado da distância, utilizando o conjunto amostral completo, o qual é mostrado na Figura 04, gerando a verdade terrestre e na Figura 05 é mostrado o mapa temático.

FIGURA 04 – INTERPOLAÇÃO DO CONJUNTO TOTAL DE AMOSTRAS

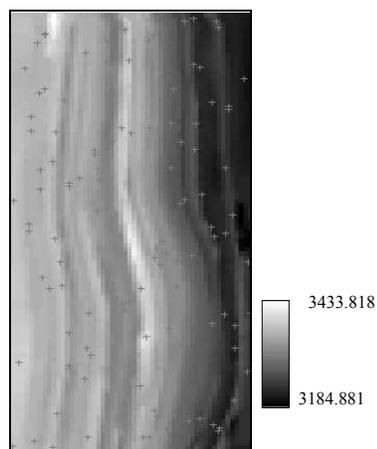
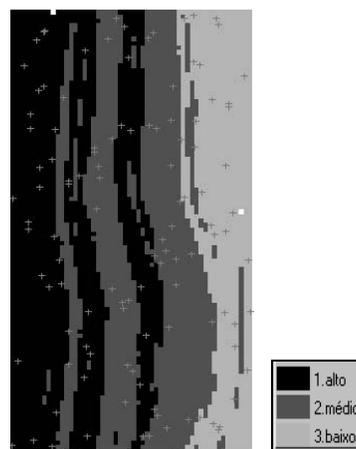


FIGURA 05 – MAPA TEMÁTICO DA VERDADE TERRESTRE



3.1. KRIGAGEM ORDINÁRIA ISOTRÓPICA

A modelagem dos semivariogramas teóricos utilizados e o processo de krigagem ordinária isotrópica, utilizando os parâmetros encontrados na modelagem, foi realizada utilizando o *software Spring 3.6.03*.

Na krigagem isotrópica o grau de correlação só varia com a distância sendo, portanto, similar para qualquer direção. Por isso é gerado somente um semivariograma.

Para realizar a interpolação limitou-se o raio na direção de maior continuidade, 1.5°, em 150 m e na direção ortogonal a 50 m. O número máximo de elementos utilizados em cada interpolação foi limitado em 5, enquanto admitiu-se um único elemento como sendo mínimo necessário para realizar a interpolação. Decidiu-se evitar um número máximo maior para diminuir o efeito de suavização e realizar a interpolação com um único elemento para diminuir o risco de células não interpoladas. As limitações impostas pelos raios máximos e mínimos, introduzem um fator de anisotropia na realização do processo final de interpolação.

O resultado da interpolação e o mapa de variância da krigagem obtidos pelo método de krigagem ordinária isotrópica podem ser observados na Figura 06 e 07, respectivamente, assim como seus valores de máximo e mínimo.

FIGURA 06 – INTERPOLAÇÃO POR KRIGAGEM ORDINÁRIA ISOTRÓPICA

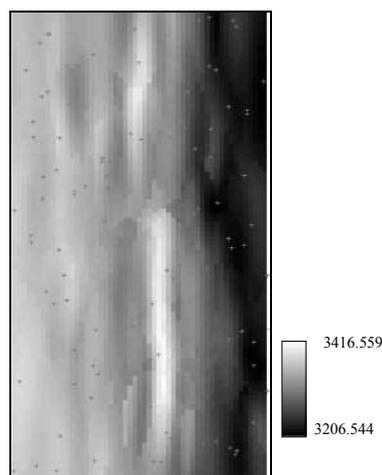
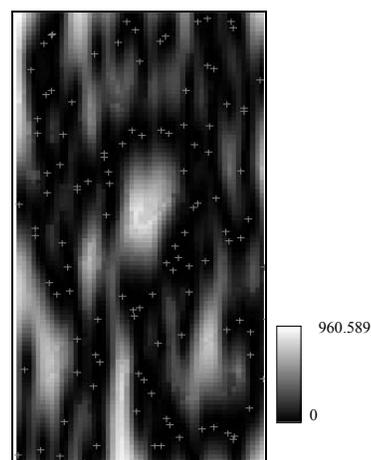


FIGURA 07 – MAPA DE VARIÂNCIA DA KRIGAGEM



3.2. KRIGAGEM ORDINÁRIA ANISOTRÓPICA

No processo de interpolação por krigagem ordinária anisotrópica se considera as variações do grau de correlação conforme a distância e a direção. Por isso, são identificadas as direções de maior e menor alcance, ou seja, as direções que possuem maior e menor dependência espacial. Uma análise dos semivariogramas de superfície mostrou que os raios máximo e mínimo são, respectivamente, 110 e 62 m. Posteriormente, são modelados e ajustados os semivariogramas para ambas as direções. No estudo de caso desse trabalho, ressalta-se que o alcance na direção ortogonal aquela de maior continuidade é muito menor que o alcance na direção de maior continuidade, devido à alta variação que ocorre entre as linhas. Isso pode ser verificado observando-se as Figura 04 e 05 da seção anterior.

Em seguida é feita a modelagem da anisotropia, que consiste em unir os dois modelos definidos, num único modelo consistente, o qual descreve a variabilidade espacial do fenômeno em qualquer direção.

A modelagem da anisotropia se dá de forma interativa, dividindo em faixas convenientes o gráfico de semivariogramas, de tal modo que em cada faixa reste somente a anisotropia geométrica.

A partir da decomposição gráfica acima, define-se o modelo aninhado como mostra a equação (08):

$$\gamma(h) = 62 + 31 \operatorname{Sph} \sqrt{\frac{h_{177^\circ}^2}{\varepsilon} + \frac{h_{88^\circ}^2}{76}} + 2232 \operatorname{Sph} \sqrt{\frac{h_{177^\circ}^2}{76} + \frac{h_{88^\circ}^2}{105.4}} + 1922 \operatorname{Sph} \sqrt{\frac{h_{177^\circ}^2}{105.4} + \frac{h_{88^\circ}^2}{\square}} \quad (08)$$

O resultado da interpolação e o mapa de variância da krigagem obtidos pelo método de krigagem ordinária anisotrópica podem ser observados nas Figuras 08 e 09, respectivamente.

FIGURA 08 - INTERPOLAÇÃO POR KRIGAGEM ORDINÁRIA ANISOTRÓPICA

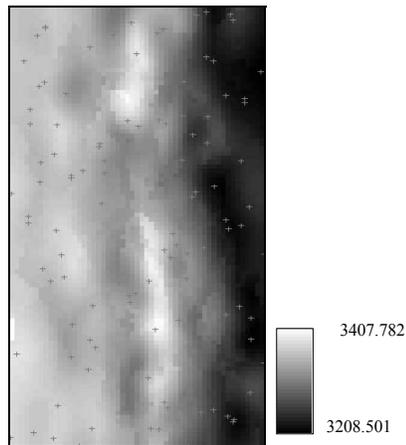
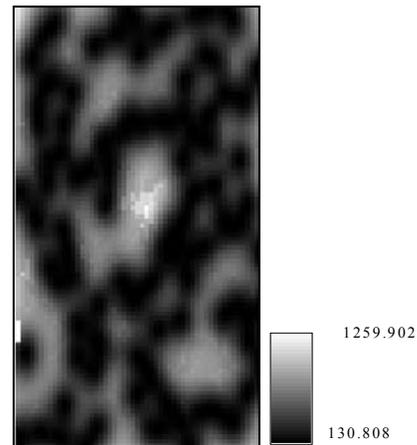


FIGURA 09 – MAPA DE VARIÂNCIA DA KRIGAGEM



3.3. KRIGAGEM INDICATIVA ISOTRÓPICA

No processo de krigagem indicativa isotrópica, como já foi dito anteriormente, são definidos diversos cortes. Para o caso do rendimento da cultura de soja foram definidos 10 cortes, gerando os semivariogramas para 9 deles, pois o valor máximo das amostras já é atingido nesse corte, sendo que o décimo compreende a amostra completa e é, portanto, constituído somente de valores codificados como 1. O resultado do processo de krigagem indicativa isotrópica é mostrado na figura 10, assim como o mapa de incerteza gerado durante o processo na Figura 11.

FIGURA 10 - INTERPOLAÇÃO POR KRIGAGEM INDICATIVA ISOTRÓPICA

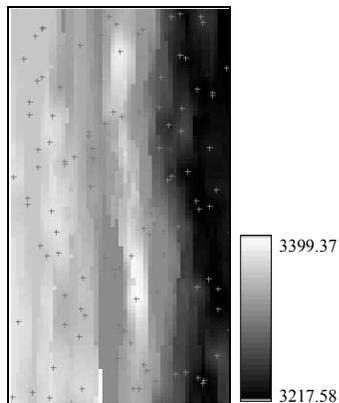
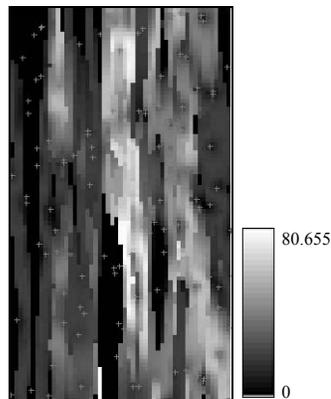


FIGURA 11 – MAPA DE INCERTEZA DA KRIGAGEM INDICATIVA



4. RESULTADOS OBTIDOS E ANÁLISE

Como produto final dos processos de interpolação por krigagem, foram gerados três mapas temáticos: krigagem ordinária isotrópica, krigagem ordinária anisotrópica e krigagem indicativa isotrópica, respectivamente, os quais são mostrados nas Figuras 12, 13 e 14 e utilizam os mesmos intervalos adotados para a geração do mapa de verdade terrestre.

FIGURA 12 – MAPA TEMÁTICO DA KRIGAGEM ORDINÁRIA ISOTRÓPICA

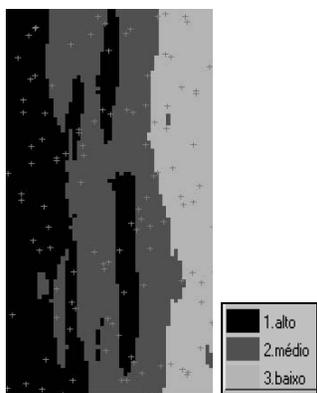


FIGURA 13 - MAPA TEMÁTICO DA KRIGAGEM ORDINÁRIA ANISOTRÓPICA

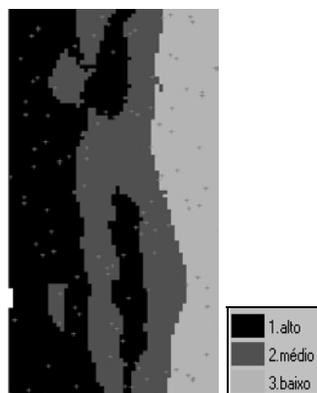
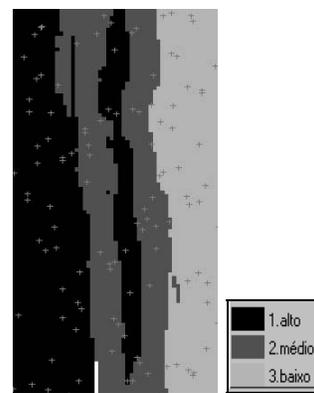


FIGURA 14 - MAPA TEMÁTICO DA KRIGAGEM INDICATIVA ISOTRÓPICA



Após a geração dos mapas temáticos, realizou-se a tabulação cruzada entre o mapa de verdade terrestre e os mapas gerados pelos processos de krigagem, esse processo faz uma verificação célula a célula, isto é, quais foram classificados corretamente e quais foram classificados incorretamente, fornecendo matrizes de tabulação cruzada proporcional. As tabelas 01, 02 e 03 mostram as matrizes

resultantes da comparação entre a verdade terrestre e os processos de krigagem ordinária isotrópica, anisotrópica e krigagem indicativa isotrópica respectivamente. Nas colunas estão os pixels classificados da imagem da verdade terrestre e nas linhas os pixels na imagem obtidas pelos diversos processos de krigagem.

TABELA 01 – TABULAÇÃO CRUZADA PARA KRIGAGEM ORDINÁRIA ISOTRÓPICA

	0	1	2	3	Total
1	0.0000	0.3101	0.0539	0.0000	0.3640
2	0.0000	0.0917	0.2971	0.0067	0.3955
3	0.0002	0.0000	0.0406	0.1997	0.2405
Total	0.0002	0.4018	0.3917	0.2064	1.0000

Os resultados da tabela 01 mostram que a classe crítica para o diagnóstico em agricultura de precisão, classe 3 de baixo rendimento, apresentou erro de inclusão de 4,08 % e erro de omissão de 0,67 %. Pode-se dizer que esses erros são aceitáveis para os propósitos da agricultura de precisão. O erro de omissão, o qual é considerado o mais grave, pois nesse caso a área omitida não é considerada na análise do produto final, é baixo.

TABELA 02 – TABULAÇÃO CRUZADA PARA KRIGAGEM ORDINÁRIA ANISOTRÓPICA

	0	1	2	3	Total
0	0.0000	0.0010	0.0000	0.0000	0.0010
1	0.0000	0.3472	0.0882	0.0000	0.4355
2	0.0000	0.0536	0.2607	0.0029	0.3171
3	0.0002	0.0000	0.0427	0.2035	0.2464
Total	0.0002	0.4018	0.3917	0.2064	1.0000

A tabela 02 mostra que os resultados obtidos nesse processo de interpolação são os melhores dentre os três processos. Entretanto, o erro de omissão de 0,29 % para a classe 3 não é o menor dentre eles.

TABELA 03 – TABULAÇÃO CRUZADA PARA KRIGAGEM INDICATIVA ISOTRÓPICA

	0	1	2	3	Total
0	0.0000	0.0000	0.0017	0.0000	0.0017
1	0.0000	0.3467	0.0713	0.0000	0.4180
2	0.0000	0.0551	0.2521	0.0006	0.3078
3	0.0002	0.0000	0.0665	0.2058	0.2725
Total	0.0002	0.4018	0.3917	0.2064	1.0000

Neste caso, o erro de omissão da classe 3 é o menor dentre os processos

comparados. Apesar do erro de inclusão ser de 6,65 % contra 4,06 % e 4,27 % dos processos anteriores de krigagem ordinária isotrópica e anisotrópica, respectivamente, esse tipo de erro não compromete, em excesso, o diagnóstico da situação do sistema produtivo. Nesse estudo de caso, a área total é de 13,5 ha e a área incluída como sendo baixo rendimento da soja de 0,89 ha.

Na tabela 04 são mostrados os valores do índice global kappa, encontrados para cada um dos processos de krigagem.

TABELA 04 – MEDIDAS DE SIMILARIDADE

	Krig Ord Iso	Krig Ord Aniso	Krig Ind Iso
Kappa	0.7026	0.7100	0.7019

Observa-se, na Tabela 04, que os índices de concordância kappa indicam que os resultados da krigagem ordinária anisotrópica foram os melhores deste estudo de caso. Entretanto, as pequenas diferenças obtidas demonstram que a escolha do melhor processo de interpolação deve se basear em outro critério.

5. CONCLUSÃO

Uma comparação de resultados da aplicação de interpoladores por krigagem linear isotrópica, anisotrópica e não linear isotrópica com dados adquiridos no campo mostrou que as diferenças são baixas para o caso analisado. O estudo de caso realizado comparou métodos de interpolação do rendimento da soja numa área de estudo no Estado do Paraná.

A krigagem ordinária anisotrópica, apresentou os melhores resultados de interpolação. Porém, o processo de krigagem ordinária anisotrópica é muito complicado para ser realizado por um técnico agrícola com poucos conhecimentos em geoestatística e análise espacial. No entanto, o processo de krigagem indicativa isotrópica não apresentou resultados significativamente diferentes das outras interpolações. O processo de krigagem indicativa isotrópica parece permitir um elevado grau de automação o que minimizaria a participação do analista. Esses resultados indicam que novos trabalhos com objetivo de automatizar o processo de krigagem podem contribuir para a incorporação dessa tecnologia em Sistemas de Informação Geográfica para Agricultura de Precisão.

6. REFERÊNCIAS

BURROUGH, P. A. **Principles of geographical information systems for land resources assessment** - Oxford, Clarendon Press, 1987.

CAMARGO, E. C. G. Apostila do curso – geoprocessamento para projeto ambientais. Cap. 12. São José dos Campos, 1998. São José dos Campos – INPE.

ISAAKS, E. H., SRIVASTAVA, M. R. Applied geostatistics. Oxford, New York, 1989. Oxford University Press.

STURARO, J. R. Mapeamento geoestatístico de propriedades geológico-geotécnicas obtidas de sondagens de simples reconhecimento. Tese de Doutorado, 1993. São Carlos – USP.

FELGUEIRAS, C. A. Modelagem ambiental com tratamento de incertezas em sistemas de informação geográfica: o paradigma geoestatístico por indicação. Tese de Doutorado, 1999. São José dos Campos - INPE

7. AGRADECIMENTOS

À Embrapa soja por ter viabilizado a realização do experimento.
À CAPES pela bolsa mestrado.

MODELO ESPAÇO-TEMPORAL DE FENÔMENOS TERRESTRES

Antônio José Berutti Vieira¹
Carlos Alberto Picanço de Carvalho²
Claudia Robbi Sluter³
Neilor Fermino Camargo⁴
Johnatan Daniel Lima⁵

- 1 Universidade Federal do Paraná – aberutti@ufpr.br
- 2 Universidade Federal do Paraná – carlosac@inf.ufpr.br
- 3 Universidade Federal do Paraná – robbi@ufpr.br
- 4 Universidade Federal do Paraná – neilor@camargon.com
- 5 Universidade Federal do Paraná – jonathandaniel@yahoo.com.br

RESUMO

Neste trabalho são revistas definições para os termos: fato, fenômeno, modelo e dados. Os principais tipos de fenômenos terrestres e o modelo proposto para a representação destes fenômenos são descritos, com destaque para a superfície topográfica. Para descrever formalmente o modelo foi utilizada a UML (**Unified Modeling Language**) e para visualizar os resultados foi utilizada a VRML (**Virtual Reality Modeling Language**)

Palavras-chave: Modelo espaço-temporal; Linguagem de Modelagem Unificada; Linguagem de Modelagem de Realidade Virtual.

ABSTRACT

Terms like facts, phenomena, models and data are discussed in this work. The main types of terrestrial phenomena and a model to represent them are proposed mainly concerned with topographic surface. UML is used to describe the model and VRML is used to visualize the experiments.

Keywords: Spatiotemporal modeling; Unified Modeling Language; Virtual Reality Modeling Language.

1. INTRODUÇÃO

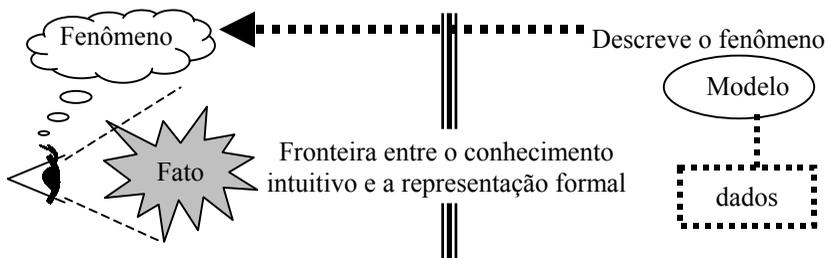
Ainda hoje é indiscutível a relevância de se representar e comunicar fatos que ocorrem sobre a superfície terrestre por meio de sistemas computacionais. Neste sentido uma grande parte da comunidade científica vem desenvolvendo trabalhos, principalmente no que se refere a busca por um maior formalismo dos modelos de persistência, representação e de visualização. Além disto, como os fatos podem sofrer alterações não somente no espaço mas também no tempo, a incorporação da propriedade tempo torna-se importante também. O termo atualmente utilizado para tratar fenômenos terrestres no espaço e no tempo é modelagem espaço-temporal.

Neste trabalho é abordado somente o modelo de representação de fenômenos terrestres, uma vez que os outros dois, modelo de persistência e de visualização, são tratados em artigos específicos (CAMARGO, 2003; e LIMA, 2003). Apesar do modelo proposto contemplar a propriedade temporal, para os experimentos realizados somente foi considerada a propriedade espacial. Sendo que estes experimentos tiveram por base uma restituição digital 3D de 1:2000, do Centro Politécnico da Universidade Federal do Paraná, onde foi modelada somente a superfície topográfica.

2. FATO, FENÔMENO, MODELO E DADOS

No contexto deste artigo os termos: fato e fenômeno estão definidos respectivamente como sendo: algo que existe no mundo real e o entendimento que se tem disto, tendo por base uma certa idealização (VIEIRA, 2002). Para exemplificar, isto, pode-se dizer que o planeta Terra é o fato, ou seja, simplesmente ele existe. Quando se admite que este planeta tem uma superfície externa, tem-se então que esta superfície é o fenômeno, ou seja, um entendimento do fato. Neste caso, está sendo idealizado que a Terra tem uma fina casca sobre a qual podem ocorrer outros fenômenos. O modelo neste contexto serve para descrever o fenômeno de acordo com um propósito. Para que o fenômeno represente o fato é necessário se eleger um conjunto de propriedades que o caracterize. Para este conjunto são feitas observações ou atribuições de valores, que são os dados propriamente dito, enquanto que o modelo é a descrição do fenômeno visando uma finalidade (Figura 1).

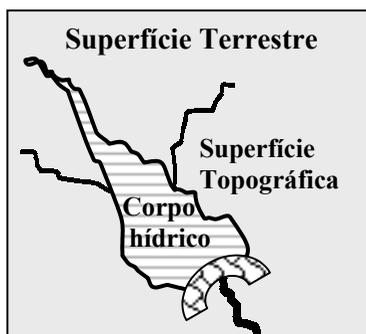
FIGURA 1 RELAÇÃO ENTRE FATO, FENÔMENO, MODELO E DADOS.



2.1. TIPOS DE FENÔMENOS

Dentre os vários fenômenos terrestres podem ser citados: a superfície terrestre, os corpos hídricos, os imóveis, as construções, as vias de acesso, os afloramentos rochosos, os solos, as coberturas vegetais e as árvores isoladas, como aqueles que são normalmente representados nas cartas topográficas e mapas em geral. Quando se consideram os corpos hídricos, a superfície terrestre fica dividida em duas regiões. A superfície não submersa é definida aqui como sendo a superfície topográfica. Um relacionamento que se pode tirar entre o corpo hídrico, a superfície terrestre e a superfície topográfica é que o corpo hídrico está sobre a superfície terrestre e adjacente a superfície topográfica (Figura 2). Isto normalmente fica evidente quando são observadas em conjunto as cartas topográficas e náuticas. As primeiras dão ênfase na representação da superfície topográfica enquanto que as últimas representam a superfície que está submersa. Assim, da combinação das cartas topográficas e náuticas se tem uma representação de toda a superfície terrestre. Dentro desta concepção, pode-se dizer que os *fenômenos terrestres* são entendimentos que se tem de fatos que ocorrem sobre a superfície terrestre e *fenômenos topográficos* são entendimentos de fatos que ocorrem sobre a superfície topográfica.

FIGURA 2 SUPERFÍCIE TOPOGRÁFICA É A REGIÃO NÃO SUBMERSA.



Diferentemente dos outros fenômenos, os corpos hídricos (oceanos, rios, lagos, entre outros) têm um comportamento distinto, porque podem fluir livremente, ou quando represados se manter em repouso. Além disto, não possuem uma forma própria, porque dependem do talvegue em que estão contidos.

3. DESCRIÇÃO DE FENÔMENOS TERRESTRES

Inicialmente, o que se tem é uma idealização orientada pela percepção do observador, mas o que realmente se busca é uma descrição do fenômeno, o modelo. A situação ideal neste caso, é que a idealização seja perfeitamente descrita pelo modelo. Em contra partida, a aceitação do modelo está diretamente vinculada a sua

capacidade de expressar correta e de forma completa a idealização. A deficiência neste processo de modelagem tem pelo menos duas origens: ou a linguagem de modelagem não é suficiente para expressar os fenômenos idealizados, ou a idealização é inapropriada para os fatos, em outras palavras, apesar da linguagem de modelagem ser adequada a idealização é errônea.

Para descrever os fenômenos terrestres se está incorporando o conceito de classes de objetos, ou seja, se está admitindo que todos os objetos que apresentam um mesmo comportamento e compartilham dos mesmos atributos pertencem a um único tipo de classe. No que se refere aos atributos do fenômeno, se está propondo um agrupamento destes em dois grupos: os que dizem respeito ao significado do fenômeno, que são as propriedades relacionadas com a semântica do fenômeno, e os que dizem respeito ao espaço ocupado pelo fenômeno, sua superfície.

3.1. OS ATRIBUTOS SEMÂNTICOS

A semântica do fenômeno caracteriza o que ele é, por exemplo, se um lago, se uma edificação ou então um outro fenômeno específico. Assim, para cada semântica se tem um conjunto de propriedades que caracterizam os objetos de uma classe. Por exemplo, para os objetos do tipo Imóvel pode se ter como propriedades: registro, proprietário e o tipo do imóvel. Para objetos do tipo Solo: composição, acidez, impermeabilidade e uso. Em acréscimo, como se está considerando que todo fenômeno pode variar no tempo, tem-se então que incorporar o instante t de observação para cada uma das propriedades. Assim, o conjunto de atributos semânticos é considerado como uma lista tripla, em que o primeiro elemento representa a propriedade, o segundo o valor dessa propriedade e o terceiro o instante de observação deste valor.

3.2 A SUPERFÍCIE

O espaço ocupado pelo fenômeno (F) é o espaço ocupado pela sua superfície (S) e esta pode ser composta por um conjunto de superfícies conexas. Na realidade, isto se verifica quando se está considerando que o fenômeno em estudo é tridimensional. Entretanto, existem aplicações em que pode-se admitir que o fenômeno tem uma outra dimensionalidade, 0D, 1D ou 2D. Por exemplo, é possível se adotar uma dimensionalidade 1D para representar uma rede de drenagem numa certa aplicação, em que é relevante somente as conexões e caminhos pela rede. Entretanto, para uma outra aplicação, pode ser necessário se ter, além das conexões e caminhos, as margens dos rios representadas em verdadeira grandeza, dimensionalidade 2D ou 3D. Um exemplo de dimensionalidade 0D pode ser aquele em que se quer representar a sede administrativa de cada cidade dentro de um mapa estadual. Neste caso, com apenas um terno de coordenadas e os atributos semânticos, pode-se caracterizar cada sede no espaço e no tempo. Deve-se destacar aqui, que a dimensionalidade está relacionada com a idealização da superfície do

fenômeno para uma certa aplicação e não com a posição espacial do fenômeno que é dada por uma lista de um ou mais ternos de coordenadas. Da mesma maneira que foi considerado para os atributos semânticos, a propriedade tempo tem de ser incorporada à superfície. Assim, se F é um fenômeno terrestre, então F é modelado semanticamente por seus atributos A e uma dimensionalidade D para a superfície S , como apresentado na expressão (1):

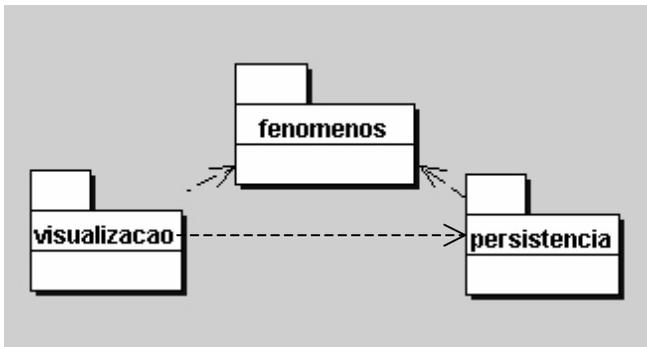
$$F(A, (D|S)), \text{ expressão(1)}$$

4. MODELANDO COM UML

O sistema está sendo modelado com a UML (**Unified Modeling Language**) que é a linguagem de modelagem baseada no paradigma de orientação a objeto. A importância de uma linguagem de modelagem é porque com esta, tem-se um conjunto de regras, com semântica e sintaxe, e uma notação, que são os símbolos usados no modelo (ERIKSSON e PENKER, 1998).

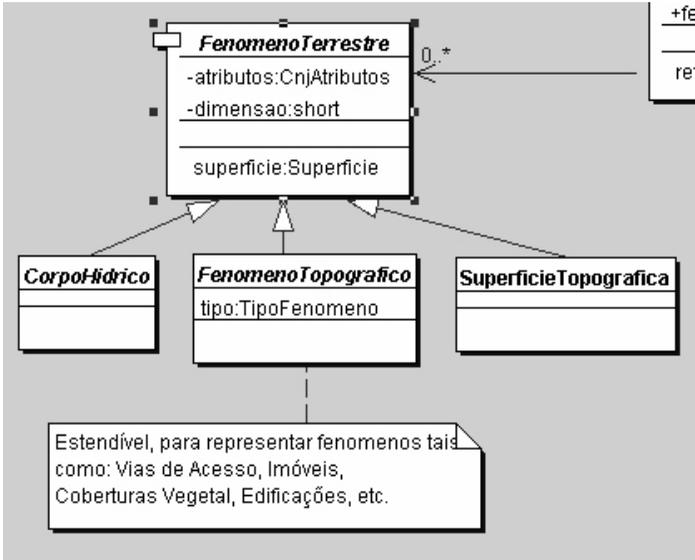
Usando a UML então é possível que a conceituação do problema seja feita por meio de classes/objetos, que são expressos por grafos, chamados diagramas. Um aspecto importante é que o OMG (**Object Management Group**) reconhece a UML como um padrão formal. Na Figura 3, é apresentado um detalhe da modelagem, em que aparecem os três principais pacotes relativos aos modelos de visualização, representação dos fenômenos e persistência do sistema proposto.

FIGURA 3 EXEMPLO DA MODELAGEM COM OS PACOTES: VISUALIZAÇÃO, FENÔMENOS E PERSISTÊNCIA.



Na Figura 4, é apresentado um detalhe da modelagem em que aparecem os três principais fenômenos terrestres: Fenômeno Topográfico, Superfície Topográfica e Corpo Hídrico. Com relação ao Fenômeno Topográfico, este pode ser especializado ou estendido em classes: Imóveis, Construções, Vias de acesso, Afloramentos rochosos, Solos, Coberturas vegetais e Árvores isoladas.

FIGURA 4 DETALHE DA MODELAGEM PARA A CLASSE FENÔMENO TERRESTRE.

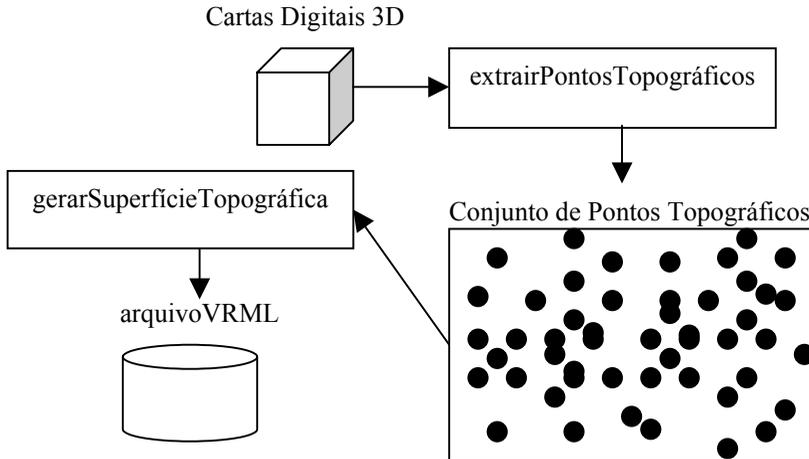


5. VISUALIZANDO COM VRML

Para visualizar os fenômenos terrestres está sendo utilizado VRML (**Virtual Reality Modeling Language**) e o pacote de funções da GeoVRML. A sigla VRML faz referência ao padrão que especifica um formato de arquivo para descrever interatividade de objetos 3D e de cenários. GeoVRML é um pacote que inclui um conjunto de classes e métodos que permitem lidar com fenômenos terrestres, no que se refere ao uso de diferentes tipos de coordenadas, como por exemplo, coordenadas geodésicas (latitude/longitude), ou coordenadas UTM (**Universal Transverse Mercator**) e também representação de valores reais com precisão dupla.

Os métodos que foram implementados para gerar a malha de triângulos de Delaunay que é usada para representar e visualizar a superfície topográfica foram escrito na linguagem de programação JAVA. Sendo que o ambiente de desenvolvimento utilizado é o **SUN-One** da Sun Microsystems, na sua versão comunitária. A seguir, na Figura 5, é apresentado o fluxo de processamento que se inicia com o instanciamento dos objetos topográficos extraídos de mapas digitais 3D. A partir daí é feita uma triangulação destes pontos tendo por base o critério de Delaunay e exportado o objeto Superfície Topográfica segundo o padrão VRML97. No experimento apresentado aqui não foi necessário utilizar o pacote GeoVRML, uma vez que as coordenadas (E,N,H) utilizadas não foram transformadas para outro tipo de sistema.

FIGURA 5 FLUXO DE PROCESSAMENTO PARA GERAÇÃO DA SUPERFÍCIE TOPOGRÁFICA.



Na Figura 6 é apresentado o mapa digital a partir do qual foram extraídos os pontos topográficos (2789 pontos) e na Figura 7, é apresentada uma vista isogonal com o navegador VRML, que é usado para interagir com os objetos VRML.

FIGURA 6 MAPA DIGITAL.

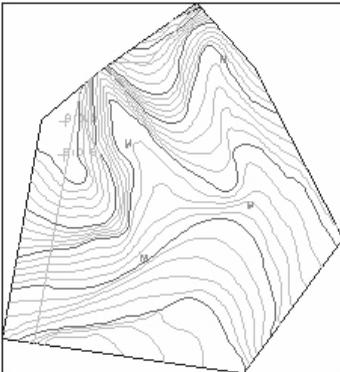
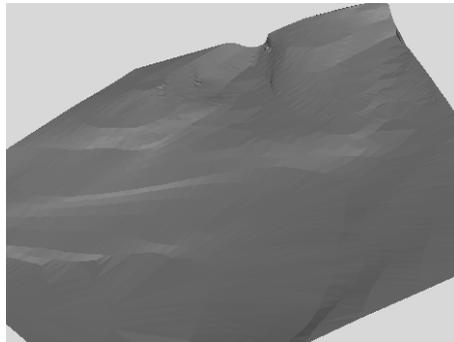


FIGURA 7 VISTA ISOGONAL DA SUPERFÍCIE GERADA.



6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para concluir, destacamos que estes estudos fazem parte do desenvolvimento de um sistema próprio para tratar fenômenos terrestres que está sendo implementado por um grupo de pesquisadores e alunos de pós graduação dos Departamentos de Geomática e Informática da Universidade Federal do Paraná.

7. REFERÊNCIAS

CAMARGO, N. F.; CARVALHO, C. A. P. de; VIEIRA, A. J. B.; LIMA, J. D. Modelo de Visualização de Fenômenos Terrestres 3D. In: **Anais do III Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas**. Curitiba, Paraná. Curso de Pós Graduação em Ciências Geodésicas da Universidade Federal do Paraná. 2003.

ERIKSSON, H. E.; PENKER, M. **UML toolkit**. New York: John Wiley & Sons. 1998. 397p.

KRAAK, M. J.; ORMELING, F. J. **Cartography: Visualization of Spatial Data**. Essex, England: Addison Wesley Longman. 1996. 222p.

LIMA, J. D.; CARVALHO, C. A. P. de; VIEIRA, A. J. B.; CAMARGO, N. F. Persistência de Fenômenos Terrestres Representados como Objetos. In: **Anais do III Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas**. Curitiba, Paraná. Curso de Pós Graduação em Ciências Geodésicas da Universidade Federal do Paraná. 2003.

MOLENAAR, M. **An introduction to the theory of spatial object modelling for GIS**. London: Taylor & Francis. 1998. 246p.

NADEAU, D. **VRML97: Introduction to VRML 2.0**.
<http://www.sdsc.edu/~nadeau/Courses/VRML97/>

PRICE, R.; SRINIVASAN, B.; RAMAMOHANARAO, K. **Extending the Unified Modeling Language to Support Spatiotemporal Applications**. Asia Technology of Object Oriented Languages and Systems, p.163-174. 1999.

SOWIZRAL, H.; NADEAU, D. **SIGGRAPH 99: Introduction to Programming with Java 3D**. <http://www.sdsc.edu/~nadeau/Courses/Siggraph99/>

VIEIRA, A. J. B. **Modelagem espaço-temporal de fenômenos topográficos**. Plano de Tese apresentado em Seminário de Qualificação do Curso de Pós Graduação em Ciências Geodésicas da Universidade Federal do Paraná. Curitiba: Julho 2001. 41p.

WORBOYS, M. F. **GIS: a computing perspective**. [S.L.] Taylor & Francis. 1995.

PERSISTÊNCIA DE FENÔMENOS TERRESTRES REPRESENTADOS COMO OBJETOS

Johnatan Daniel Lima¹
Carlos Alberto Picanço de Carvalho¹
Antônio José Berutti Vieira²
Neilor F. Camargo¹

- 1 Universidade Federal do Paraná – Dep. de Informática
 [{johnatan.carlosac,neilor} @inf.ufpr.br](mailto:{johnatan.carlosac,neilor}@inf.ufpr.br)
- 2 Universidade Federal do Paraná – Dep. de Geomática aberruti@ufpr.br

RESUMO

Este trabalho explora uma técnica de persistência de objetos representando fenômenos terrestres dentro de um contexto de um sistema de informação geográfico.

Palavras-chave: Fenômenos Terrestres; Persistência de Objetos; SIG

ABSTRACT

This work has shows a technique store and retrieve terrestrial phenomenons especially phenomenons represented as objects in a context of geographical database and geographical systems of information.

Keywords: Terrestrial phenomenons; Persistence of Objects; GIS

1. INTRODUÇÃO

Armazenamento, recuperação e manutenção de informação são uns dos principais atributos de qualidade de um sistema de informação. Quando os elementos manipulados são objetos o ato de armazenar para uma posterior recuperação recebe o nome de persistência. Em outras palavras, persistência para um objeto é a sua capacidade de sobreviver fora dos limites da aplicação que o criou. Normalmente isto significa que o objeto tem que ser gravado em um meio de armazenamento não volátil, geralmente discos rígidos.

Várias são as alternativas para o armazenamento de objetos em sistemas de informações: banco de dados orientados a objetos, banco de dados objeto-relacional, banco de dados relacional, XML entre outros. Dentre essas alternativas foi escolhido como meio de persistência dos fenômenos um banco de dados relacional. A utilização de banco de dados relacional é o meio mais comum para sistemas de informações, inclusive geográficos, devido ao fato que os bancos de dados relacionais possuem grandes investimentos e são os mais confiáveis para dar suporte a aplicações robustas.

A persistência de objetos em banco de dados relacional é uma tarefa trabalhosa pois além de incluir as transformações do modelo orientado a objetos para o modelo relacional inclui também a construção de uma camada de persistência responsável pela composição e decomposição dos objetos a partir do modelo relacional. O diferencial deste trabalho é que os objetos em questão são fenômenos terrestres que têm propriedades semânticas, espaciais e temporais complexa.

Esse trabalho é parte de um sistema de informação em desenvolvimento onde o que são tratados em dois outros artigos específicos específicos (CAMARGO, 2003; e VIEIRA, 2003).

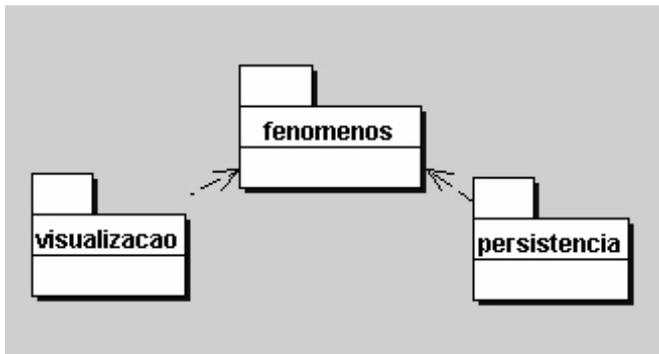


Figura 1 Exemplo da modelagem em que aparecem os pacotes visualização, representação e persistência.

Além da capacidade de persistência o subsistema deverá ser capaz de armazenar e recuperar os fenômenos tem ainda que possuir a capacidade de adaptação a novos fenômenos. Para a construção do subsistema levou-se em consideração um conjunto reduzido de fenômenos para a representar os fenômenos terrestres, entre eles: superfície terrestre, corpo hídrico, construção, arvore etc. Mas devido a dificuldade de se representar todos os tipos de fenômenos possíveis, o subsistema deve permitir

uma fácil extensão para novos tipos que eventualmente possam surgir na evolução da modelagem dos fenômenos.

Outro problema relacionado com a extensão a novos tipos de fenômenos é permitir também a extensão para novos atributos semânticos nos fenômenos que já existem representados no sistema. Na definição da modelagem dos fenômenos foram consideradas apenas características básicas para todos os fenômenos, com o intuito apenas de expressar a semântica do objeto. Foram ignoradas até o momento algumas características que não eram importantes, mas que futuramente possam ser incorporadas nos fenômenos.

Para permitir essa adaptação dos fenômenos e também sua extensão para novos fenômenos que a modelagem dos fenômenos orientada a objetos. Utilizando uma modelagem orientada a objetos e uma linguagem orientada a objetos pode-se trabalhar com um protótipo simples e que futuramente pode ser estendido para atender novas necessidades do usuário.

Todos os fenômenos que serão utilizados nos experimentos estão presentes no Centro Politécnico – UFPR e atualmente encontram-se registrados em cartas digitais no software Maxicad. A escolha dessa amostra de dados deu-se pela maior facilidade na obtenção dos dados que é uma tarefa por vezes complexa.

O primeiro passo para a construção do subsistema de persistência de fenômenos é extrair informações dos arquivos Maxicad e a partir disso construir fenômenos representados como objetos.

Em seguida esses fenômenos são submetidos ao subsistema de persistência de objetos que decompõem esses fenômenos para que possam ser armazenados no banco de dados. Ao armazenar os fenômenos no banco de dados, informações espaciais sobre a carta são associadas ao objeto para facilitar a posterior recuperação dos fenômenos.

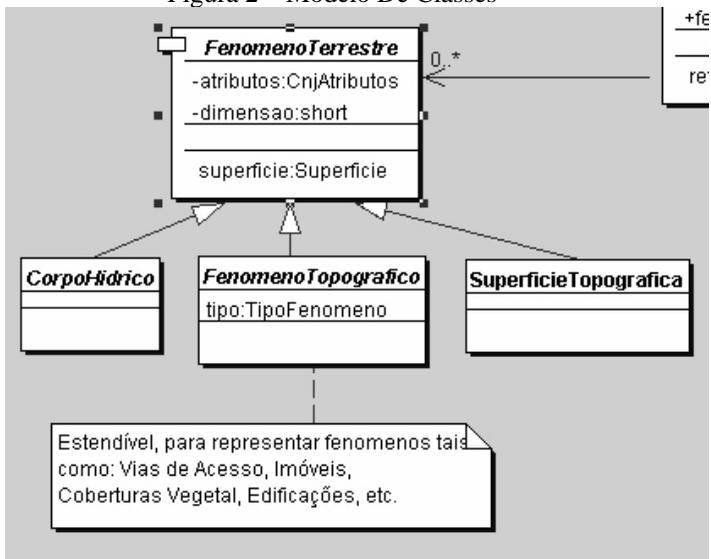
Para recuperar os objetos, primeiro deve-se determinar quais são os objetos de interesse que deverão ser restaurados. O parâmetro utilizado nesta primeira versão do subsistema é a carta que contém os fenômenos a serem recuperados. A recuperação será feita seguindo um particionamento do espaço, seguindo um modelo de articulação de cartas de folhas topográficas.

2. MODELAGEM DE FENÔMENOS TERRESTRES COMO OBJETOS

CONSIDERAÇÕES SOBRE A MODELAGEM

O modelo de objetos utilizado sobre o comportamento de fenômenos terrestres na natureza é mostrado a seguir:

Figura 2 – Modelo De Classes



Este modelo (diagrama de classes) divide os fenômenos em 3 grandes grupos: corpos hídricos, fenômenos topográficos e a superfície terrestre. Todos são classes abstratas e para que possam ser instanciados precisam ser derivados e especificados em outra classe mais específica. A discussão sobre o modelo pode ser encontrado em VIEIRA 2003.

Este tipo de modelagem permitiu uma maior independência do sistema em 2 aspectos:

- Refinamento e extensão dos fenômenos: a modelagem permite uma independência da modelagem conceitual para os fenômenos. Uma vez que as características e o comportamento básico dos fenômenos já foi descrito e também a maneira de como eles são divididos. As alterações no modelo causam menos impacto no desenvolvimento. Contudo que não ocorra alterações nos relacionamentos das classes mais básicas
- Integração: a modelagem também permite a integração entre os subsistemas pois pode-se utilizar a classe FenômenoTerrestre como interface para entrada e saída de objetos já ela define o comportamento básico de todos os fenômenos e é a super classe de maior nível.

3. PARTICIONAMENTO DO ESPAÇO COMO ORGANIZAÇÃO DOS FENÔMENOS

Dentre as propriedades e atributos dos fenômenos terrestres destacam-se 3 categorias: A temporalidade que indica o instante que o fenômeno é observado, semântica que diz respeito as propriedades que caracterizam o fenômeno, e os atributos geográficos indicados por coordenadas.

A ênfase deste trabalho está no armazenamento e recuperação dos objetos focado na sua localização. A técnica escolhida baseia-se no particionamento do espaço seguindo um modelo de articulação de folhas das cartas topográficas.

Esta técnica de articulação segue os seguintes passos:

1. Determinar os limites ao redor da superfície do fenômeno, ou seja, criar uma “caixa” suficientemente grande para conter o fenômeno;
2. Baseado em um fator desejado para a maior escala, determinar a carta em maior escala a partir da carta ao milionésimo que contenha os limites do fenômeno;
3. Determinar a nomenclatura da carta que foi escolhida baseada no processo de articulação;

Determinada a nomenclatura da carta que contém o fenômeno associa-se este código da nomenclatura ao fenômeno.

4. PERSISTÊNCIA DE OBJETOS

Como mencionado anteriormente o método de persistência adotado para experimento utilizou-se de banco de dados relacional. Em complemento da utilização de banco de dados utilizou-se também a representação de objetos em formato serializado.

A serialização é um processo de representação binária de um objeto. Esta representação simboliza o estado atual do objeto antes do processo de serialização. No processo de restauração de um objeto serializado o resultado é um objeto idêntico ao que foi serializado anteriormente (SUN, 2003).

Como visto anteriormente, este método de persistência utilizará um banco de dados baseado no modelo relacional, mas persistirá objetos. Para conseguir armazenar objetos em um modelo relacional é necessário um processo de mapeamento desses objetos em tabelas. A serialização é uma técnica utilizada para facilitar este processo de mapeamento.

A combinação de banco de dados relacional e a serialização é feita utilizando-se tipos de dados binários, também conhecidos como campos BLOB (Binary Large Objects), variando o nome específico dependendo do fabricante de banco de dados. Neste experimento o campo BLOB foi representado por um tipo de dado IMAGE, ou seja, um tipo de dado para armazenamento de imagens. Mas que serve também para outros tipos de dados (MICROSOFT, 1998).

A recuperação dos fenômenos está baseada na determinação dos fenômenos através de consultas no banco de dados e posteriormente a desserialização dos fenômenos como objetos. Tendo os objetos sendo recuperados estes são colocados em outro objeto utilizado como contêiner para a transferência dos objetos para os outros módulos.

A princípio as consultas para determinar quais os fenômenos são de interesse do usuário são baseados em seus atributos. A abordagem utilizada para determinar se o fenômeno possui os atributos necessários baseia-se em reflexão dos objetos.

A reflexão representa, ou reflete, as classes, interfaces, e objetos. Pode-se utilizar a reflexão para (SUN, 2003) determinando a classe de um objeto, atributos, construtores, superclasses e métodos. Retornar o valor de um atributo de um objeto e executar métodos.

5. CONCLUSÃO

Este artigo teve o objetivo de expor o estado atual da pesquisa de persistência de fenômenos terrestres representados como objetos em um ambiente computacional enfocando um sistema de informação.

Os fenômenos terrestres necessitam ser representados para que se possa utilizá-los em sistemas de informação. Neste contexto, os fenômenos foram representados como objetos para serem armazenados, manipulados e visualizados.

A persistência de fenômenos representados como objetos utiliza técnicas de persistência de objetos para armazená-los. Utilizou-se um particionamento do espaço segundo uma articulação de folhas de cartas como modo de organização para a restauração dos fenômenos.

6. REFERÊNCIAS

CAMARGO, N. F.; CARVALHO, C. A. P. de; VIEIRA, A. J. B.; LIMA, J. D. **Visualização de Fenômenos Terrestres em 3D via Web**. In: Anais do III Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas. Curitiba, Paraná. Curso de Pós Graduação em Ciências Geodésicas da Universidade Federal do Paraná. 2003.

CARVALHO, F. R. - **Articulação Sistemática de Folhas de Cartas**. Informativo da Comissão de Cartografia COCAR, Rio de Janeiro, 1985

MICROSOFT. **SQL Server Books Online: Getting Started with SQL Server 7.0**. 1998.

VIEIRA J.B., CARVALHO C.A.P, SLUTER C. R. **Modelagem Espaço-Temporal de Fenômenos Topográficos**: Uma Revisão Didática. Anais do Simpósio Brasileiro de Geomática, Presidente Prudente-SP.2002.

VIEIRA, A. J. B.; CARVALHO, C. A. P. de;CAMARGO, N. F.; LIMA, J. D. **Modelo Espaço-Temporal De Fenômenos Terrestres**. In: Anais do III Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas. Curitiba, Paraná. Curso de Pós Graduação em Ciências Geodésicas da Universidade Federal do Paraná. 2003.

SUN MICROSYSTEMS. **The Java Tutorial**: The practical guide for programmers. 2003.

7. AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar gostaria de agradecer ao meus orientadores e companheiros que me ajudaram a escrever este trabalho e também me ajudam durante a dissertação.

Gostaria de agradecer também aos professores do Departamento de Geomática - UFPR pelo equipamento gentilmente cedido para nosso trabalho e também pelo apoio e esclarecimento de dúvidas tantas vezes necessário.

E a todas as pessoas que de alguma forma contribuíram durante o processo para que aprimorássemos nosso trabalho.

DETERMINAÇÃO DO ESPAÇAMENTO OTIMIZADO DA GRADE POR ANÁLISE DE FOURIER

Eduardo Gurgel Garcia Augusto¹
Edson Aparecido Mitishita²

- 1 Universidade Federal do Paraná – egga@globo.com
2 Universidade Federal do Paraná – mitishit@geoc.ufpr.br

RESUMO

Um dos maiores objetivos da Fotogrametria Digital foi e continuará sendo a geração automática de Modelos Digitais de Terreno (MDTs). Apesar do grande desenvolvimento das técnicas para geração de MDTs ocorrido nos últimos anos, muitos problemas ainda precisam ser resolvidos, principalmente, nas áreas de automação, otimização e controle de qualidade.

A otimização começa com a determinação do espaçamento otimizado da grade. Atualmente, o espaçamento é determinado a partir da experiência dos profissionais responsáveis pelo projeto, observando a escala da fotografia aérea e/ou a escala do produto final, mas sem considerar as características do terreno.

O objetivo desta pesquisa foi implementar e avaliar uma metodologia para a determinação do espaçamento otimizado da grade regular. Na metodologia proposta para resolver este problema o espaçamento otimizado é calculado por Análise de Fourier, a partir de um perfil representativo do terreno. Os dados utilizados na realização dos testes foram obtidos em aparelhos fotogramétricos, sem automação do processo. Entretanto, esse processo pode ser realizado de forma semi-automática em ambiente digital.

O perfil do terreno pode ser ajustado a uma função analítica, que represente as suas diferentes frequências e amplitudes. A eliminação de todas as amplitudes menores que o erro de medição do aparelho fotogramétrico empregado define o número de parâmetros do ajustamento. A partir da definição do número de parâmetros determina-se a frequência máxima e, depois, o espaçamento otimizado.

A comparação das altitudes dos pontos comuns às duas grades de cada teste apresentou diferenças equivalentes à precisão do equipamento fotogramétrico utilizado na medição dos pontos de referência. A qualidade dos MDTs gerados com os espaçamentos otimizados permite o seu emprego na geração de vários de produtos.

Palavras-chave: MDT, Fotogrametria Digital, grade regular, otimização

ABSTRACT

One of the major goals of Digital Photogrammetry has always been, and will continue to be, the automatic generation of Digital Elevation Models (DEMs). Considerable progress has been made during the last years, but problems still need to be resolved, mainly, in the automation, optimization and quality control.

The optimization begins with the determination of the optimal grid spacing. Nowadays, the determination of the spacing is based on the responsible professionals' experience by the project, observing the scale of the aerial image or the scale of the final product, but without considering the characteristics of the terrain.

The goal of this research went implement and to evaluate a methodology for the determination of the optimal spacing interval of the regular grid. In the methodology proposal to solve this problem the optimal grid spacing is calculated by Fourier Analysis with a representative profile of the terrain. The data used in the realization of the tests were obtained in analog plotters, without automation of the process. However, that process can be realized in a semiautomatic way in digital ambient.

The profile of the terrain can be adjusted to an analytic function, that represents its different frequencies and amplitudes. The elimination of all the amplitudes smaller than the error of elevation mensuration of the analog plotters or analytical plotters defines the number of parameters of the adjustment. This number defines the maximum frequency and the optimal grid spacing.

The comparison with the altitudes of the control points presented equivalent differences to the precision of the equipments used in the elevation mensuration. The precision of DEM generated with the optimal spacing interval allows its employment in the generation of many products.

Keywords: DEM, Digital Photogrammetry, regular grid, optimization

1. INTRODUÇÃO

Um dos maiores objetivos da Fotogrametria Digital continuará sendo a geração automática de Modelos Digitais de Terreno (MDTs). Considerável progresso tem sido feito nos últimos anos, mas alguns problemas persistem, impedindo soluções gerais e eficazes (SHENK, 1999, p. 224). Apesar da grande evolução nas técnicas para geração de MDTs ocorrida recentemente, problemas ainda precisam ser resolvidos, sobretudo, nas áreas de automação, otimização e controle de qualidade.

O objetivo deste trabalho foi implementar e avaliar a metodologia proposta por NOVAK, 1991, p. 64, para a determinação do espaçamento otimizado da grade regular. Os dados utilizados na realização dos testes foram obtidos em aparelhos analógicos ou analíticos, sem preocupação com a automação do processo.

A redução do volume de dados necessário para representar a superfície terrestre produzirá grande progresso operacional na geração de ortofotos digitais, por exemplo. Esta otimização reduzirá as exigências computacionais do processo, reduzindo o custo de produção.

A otimização começa com a determinação do espaçamento otimizado da grade regular utilizada na aquisição dos dados. Atualmente, o espaçamento é determinado a partir da experiência dos profissionais responsáveis pelo projeto, observando a escala da fotografia aérea e/ou a escala do produto final, mas sem considerar as características do terreno. Na metodologia proposta para resolver este problema o espaçamento otimizado é calculado a partir de um perfil representativo do terreno, utilizando a Análise de Fourier.

Este trabalho está dividido em cinco seções, sendo esta primeira a introdução. Na seção 2 apresenta-se uma breve revisão bibliográfica, contendo os conceitos básicos para a realização do trabalho. A seção 3 aborda o cálculo do espaçamento da grade regular, destacando a proposta de metodologia para solução desse problema. A seção 4 descreve os testes realizados na verificação da metodologia implementada. As conclusões resultantes do trabalho realizado são relacionadas na seção 5.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 MODELO DIGITAL DE TERRENO (MDT)

2.1.1 Definição

Modelo Digital de Terreno é um conjunto de pontos amostrados da superfície real, com coordenadas espaciais (X, Y, Z) determinadas num dado referencial e algoritmos que possibilitem construir um modelo matemático que reproduza da melhor maneira possível o comportamento altimétrico da superfície real. (OSTMAN, 1987, p.04, citado por MITISHITA, 1997, p.80).

Esta definição é completa, pois abrange os dados do terreno e os algoritmos de interpolação. Algumas definições existentes na literatura abordam apenas os dados, deixando de incluir os algoritmos, que são imprescindíveis para uma boa representação da superfície.

2.1.2 Emprego

O MDT começou a ser utilizado na década de 50, quando os primeiros computadores possibilitaram o armazenamento de dados digitais. No início, era aplicado no projeto e construção de rodovias. Mais tarde, passou a ser empregado também no traçado de curvas de nível. Atualmente, é largamente utilizado quando é necessário descrever o comportamento altimétrico da superfície terrestre. Na

Engenharia Cartográfica, seu emprego é fundamental na produção de ortofotos digitais, onde deve possibilitar a determinação da altitude referente a cada ERT, com a exatidão compatível. O Elemento de Resolução no Terreno (ERT) associa a resolução geométrica da imagem digital com a escala da imagem fotogramétrica, definindo o tamanho do pixel no espaço objeto.

2.1.3 Geração

Segundo MITISHITA, 1997, p. 82, existem diversas técnicas para coletar os dados altimétricos necessários à geração do MDT:

- Levantamentos topográficos e geodésicos;
- Fotogrametria;
- Digitalização vetorial de curvas de nível em mapeamentos analógicos;
- Transformação de curvas de nível digitais, em formato vetorial, para pontos com coordenadas espaciais.

Nos últimos anos surgiu uma nova tecnologia para a aquisição das informações altimétricas da superfície terrestre: o *Laserscanner*. Com o levantamento executado pelo *laserscanner* é possível gerar o MDT com rapidez e alta qualidade. A sua grande desvantagem ainda é o alto custo do equipamento.

Cada uma dessas técnicas apresenta vantagens e desvantagens. A escolha da técnica a ser empregada deve feita em função da aplicação a que se destina o MDT, dos meios disponíveis e da precisão obtida nas coordenadas.

A Fotogrametria é uma das técnicas mais econômicas, permitindo medir um grande número de pontos distribuídos homogeneamente sobre a área de interpolação, com alta acuracidade (NOVAK, 1991, p. 62).

2.1.4 Qualidade

A qualidade do MDT depende tanto dos pontos de controle quanto das estruturas de dados e funções. Uma amostragem deficiente não pode ser compensada por estruturas de dados eficientes ou interpoladores sofisticados; por outro lado, uma amostragem bem feita perde totalmente seu valor se utilizada com estruturas de dados inadequadas ou interpoladores impróprios (PETTINATI, 1983, p.1-05).

MITISHITA, 1997, p. 246 conclui que a precisão da determinação altimétrica, baseada no sistema de modelamento matemático de superfície, depende fundamentalmente da maneira como os pontos de controle caracterizam a conformação do relevo existente na região.

A exatidão que pode ser ativada num processo de interpolação em MDT depende da distribuição, densidade e exatidão dos pontos de referência. A distribuição e a densidade dos pontos de referência para o MDT devem ser tais que permitam a

representação analítica satisfatória da forma da superfície do terreno. (ANDRADE, 1998, p. 203).

2.2 FOTOGRAMETRIA DIGITAL

2.2.1 Definição

Segundo ISM, 1999, p.1-1, a Fotogrametria Digital é uma denominação genérica para uma nova geração da Fotogrametria baseada em imagens digitais (*softcopy*), diferente da Fotogrametria Convencional (analógica ou analítica), baseada em filme (*hardcopy*).

Os programas com as soluções da Fotogrametria Digital podem, em princípio, ser instalados em qualquer computador. Entretanto, é necessário acrescentar alguns dispositivos periféricos. A definição dos requisitos computacionais mínimos depende dos programas escolhidos.

2.2.2 Automação

A principal vantagem da Fotogrametria Digital em relação às gerações anteriores da Fotogrametria é certamente a possibilidade de automação dos processos. A medição automática das marcas fiduciais e dos pontos fotogramétricos e a geração automática de MDT e ortofotos digitais são alguns dos procedimentos que podem ser implementados, diminuindo o tempo e o custo de produção.

Algumas atividades da Fotogrametria Digital, como a restituição, por exemplo, ainda não foram automatizadas. A extração automática das feições planimétricas é um dos campos onde atualmente se desenvolvem mais pesquisas. Outra atividade ainda não automatizada de forma eficaz é a edição do MDT, necessária para a correção de pontos com altitude errada. Esse trabalho ainda é feito com a intervenção manual do operador.

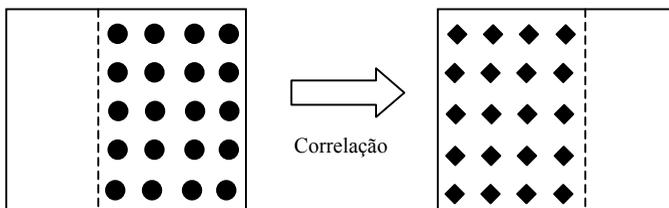
2.2.3 Geração de MDT

Após o tratamento radiométrico das imagens e a realização das orientações interior e exterior, o estereopar é reamostrado para a geometria epipolar. No modelo estereoscópico em geometria epipolar o ponto homólogo na imagem direita está na mesma linha que o ponto escolhido na imagem esquerda. Desta forma, o processo de medição automática por correlação é otimizado, passando a ser uma correlação unidimensional.

A grade regular é definida na área de recobrimento da imagem esquerda e os pontos homólogos de cada ponto são obtidos por correlação (Figura 01). O processo

de correlação falha em alguns pontos situados em áreas homogêneas, mas os pontos obtidos são geralmente suficientes para gerar um MDT com a qualidade requerida pela aplicação.

FIGURA 01 - PONTOS HOMÓLOGOS (AUGUSTO, 1999, p. 33)



Ao final da medição automática de pontos por correlação tem-se dois conjuntos de pontos no referencial de máquina (linha, coluna). Utilizando os parâmetros calculados na orientação interior, transforma-se os pontos para o referencial fiducial. Por interseção espacial obtém-se as coordenadas dos pontos no referencial geodésico local.

3. ESPAÇAMENTO DA GRADE

3.1 SITUAÇÃO ATUAL

Se os pontos de controle forem amostrados de forma regular numa distribuição matricial, por exemplo, é preciso ajustar o espaçamento entre os pontos, de modo a conseguir capturar a menor variação desejada na superfície, mesmo que esta só ocorra em uma única e pequena região. Para representar com fidelidade regiões altamente irregulares, deve-se utilizar uma grade muito mais densa do que seria necessário para regiões de comportamento regular. Por outro lado, em se utilizando uma grade de menor densidade, ajustada para regiões regulares, não se consegue registrar pequenas variações de uma região irregular (PETTINATI, 1983, p. 1-04).

Na prática, grande parte dos projetos baseados em grade regular é feita com um espaçamento constante em toda a área de trabalho. Normalmente, esse espaçamento é determinado em função da escala da fotografia aérea, sem considerar, no cálculo, as variações do terreno. Segundo ISM, 1999, p. 4-10, o espaçamento da grade corresponde a 3 ou 4 mm na escala do fotograma. Por exemplo, para uma escala de 1:5.000, o espaçamento seria de 15 m (regiões movimentadas) ou 20 m (áreas planas).

Outros autores recomendam uma fórmula com maior variação para o cálculo do espaçamento: 1 a 4 mm na escala da aerofoto. No exemplo anterior, o menor espaçamento possível seria 5 (cinco) metros, gerando uma grade bastante densa.

3.2 METODOLOGIA PROPOSTA

A aquisição dos dados é uma etapa muito importante na criação de um MDT, porque determina a sua acuracidade. A Fotogrametria é um dos métodos mais econômicos para a obtenção das coordenadas dos pontos de referência do MDT. A acuracidade desses pontos depende da velocidade de deslocamento da marca estereoscópica e da declividade do terreno. O problema a ser resolvido é determinar a densidade ótima dos pontos de referência que descreve a superfície (NOVAK, 1991, p. 62).

NOVAK, 1991, p. 64 propôs o uso de uma técnica chamada *progressive sampling* para obter as informações altimétricas do terreno por Fotogrametria. Esta técnica pode ser dividida em quatro etapas:

- Extração das *breaklines*;
- Determinação do espaçamento otimizado da grade a partir de um perfil representativo do terreno;
- Obtenção das elevações dos pontos da grade; e
- Otimização ou densificação da grade nas regiões onde o terreno for mais plano ou montanhoso.

Estas fases estão relacionadas apenas à aquisição dos dados. Antes da aquisição devem ser feitos o tratamento radiométrico das imagens e a reamostragem para geometria epipolar. A avaliação da qualidade e a edição do MDT gerado são realizadas após o procedimento recomendado.

$$z(d) := \sum_{k=1}^{\infty} \left(a_k \cdot \cos\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot k \cdot d}{L}\right) + b_k \cdot \sin\left(\frac{2 \cdot \pi \cdot k \cdot d}{L}\right) \right) \quad (1)$$

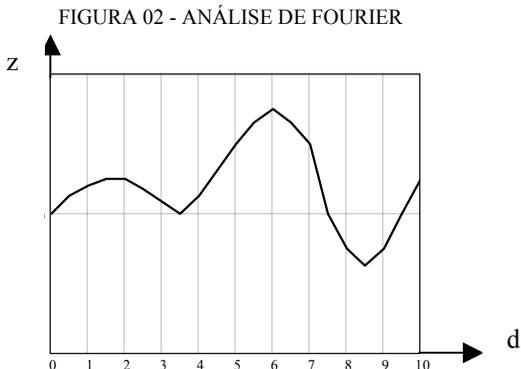
onde:

z → altitude do ponto

d → coordenada do ponto no perfil

L → comprimento do perfil

O enfoque principal deste trabalho foi a determinação do espaçamento otimizado da grade a partir do perfil representativo do terreno. Pela metodologia proposta, o espaçamento pode ser determinado por Análise de Fourier. O perfil do terreno pode ser ajustado a uma função analítica (Equação 1), representando as suas diferentes frequências e amplitudes. Cabe ressaltar que o perfil pode ser obtido em qualquer direção, desde que caracterize as variações do terreno. A Figura 02 mostra as elevações (z) em função da distância (d) no perfil.



Os coeficientes a_k e b_k da Equação 1 são determinados por um ajustamento pelo Método dos Mínimos Quadrados (MMQ), modelo paramétrico linear. No ajustamento parte-se de um número arbitrário de parâmetros ($2n$), que é aumentado ou diminuído em função do resultado do ajustamento. A partir da análise das amplitudes desses parâmetros determina-se a frequência máxima ($f_{\text{máx}}$) e, depois, o espaçamento otimizado (ΔX_o).

A eliminação de todas as amplitudes menores que o erro de medição do aparelho fotogramétrico empregado define o número de parcelas do somatório (M) a serem usadas no modelo matemático do ajustamento. Pela Equação 2 calcula-se a frequência máxima ($f_{\text{máx}}$) e, a seguir, pela Equação 3, determina-se o espaçamento otimizado (ΔX_o).

$$f_{\text{máx}} = M / L \quad (2)$$

$$\Delta X_o < 1 / 2 f_{\text{máx}} \quad (3)$$

A metodologia sugerida por NOVAK, 1991, p.64, prevê que após a determinação das altitudes da grade regular, criada com o espaçamento calculado, deve ser feita uma análise da curvatura em cada ponto da grade. Dessa análise resulta uma grade dividida em áreas de diferentes densidades de pontos, de acordo com o comportamento da superfície terrestre.

3.3 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE

A avaliação da qualidade das grades geradas foi feita pela comparação das altitudes de pontos de controle interpolados nas próprias grades com as altitudes calculadas na aerotriangulação do projeto.

Os pontos foram interpolados por dois processos diferentes: interpolação bilinear e interpolação sobre uma superfície triangular. A interpolação bilinear foi calculada pela Equação 4, apresentada por ANDRADE, 1998, p. 191, a partir das altitudes dos

quatro pontos mais próximos do ponto de controle a ser interpolado. Na interpolação sobre uma superfície triangular plana, os três pontos mais próximos do ponto a ser interpolado definem um plano. Pela Equação 5, utilizando os três pontos mais próximos, foram calculados os parâmetros A, B e C. Com os parâmetros e as coordenadas planimétricas calculou-se a altitude do ponto de controle.

$$Z(k,l) = Z(i,j) + dx * (Z(i+1,j) - Z(i,j)) + dy * (Z(i,j+1) - Z(i,j)) + dx * dy * (Z(i,j) - Z(i+1,j) - Z(i,j+1) + Z(i+1,j+1)) \quad (4)$$

$$Z = A * X + B * Y + C \quad (5)$$

3.4 AUTOMAÇÃO

Neste trabalho, a obtenção das grades e dos pontos do perfil representativo do terreno foi feita manualmente num aparelho fotogramétrico. Entretanto, esse processo pode ser realizado de forma semi-automática numa estação fotogramétrica digital. No caso do perfil, o operador definiria uma reta sobre o modelo e o sistema calcularia as coordenadas dos pontos pelo Método da Correlação ou pelo Método dos Mínimos Quadrados. Após a definição da orientação e do espaçamento da grade, os pontos poderiam ser calculados automaticamente.

4. TESTES

A fim de verificar a viabilidade da metodologia proposta foram realizados dois testes com as seguintes fases:

- 1) Geração de uma grade regular com espaçamento definido em função da escala das fotografias aéreas;
- 2) Determinação do espaçamento otimizado a partir de um perfil representativo do terreno;
- 3) Geração de uma grade regular com o espaçamento calculado no item anterior; e
- 4) Avaliação da qualidade do MDT gerado pela comparação entre as grades e pela verificação em pontos de controle.

Os objetivos do primeiro teste foram dar suporte à implementação dos algoritmos exigidos pela metodologia e obter uma idéia inicial da viabilidade da metodologia proposta. Apesar de não ser o procedimento ideal, o perfil e as duas grades foram gerados com o mesmo conjunto de pontos.

O segundo teste teve como objetivo avaliar a qualidade do MDT gerado com o espaçamento otimizado calculado de acordo com a metodologia proposta. Foi feita uma perfilagem para cada grade. Em ambos os testes foi utilizado o interpolador inverso da distância ao quadrado do programa *Surfer*.

4.1 TESTE GUARAPUAVA

4.1.1 Caracterização da área

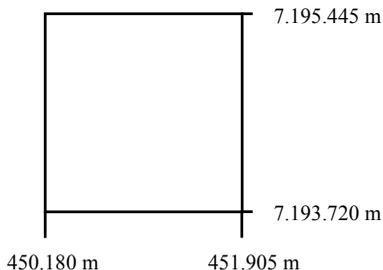
O primeiro teste foi realizado com fotografias aéreas da área urbana do município de Guarapuava-PR, pertencentes ao projeto de mapeamento cadastral executado pela Empresa Aeroimagem Aerofotogrametria S.A., em outubro de 1985. A escala média das aerofotos é 1:8.000 e a área de trabalho apresenta relevo relativamente plano ($\Delta Z \cong 40$ m).

Como dado inicial foi usada uma malha irregular contendo 13.006 pontos com coordenadas no referencial geodésico local. Essa malha foi gerada a partir de um procedimento de perfilagem realizado num equipamento fotogramétrico analítico Wild BC-3, com espaçamento aproximado de 15 (quinze) metros. Esses dados foram produzidos e utilizados por MITISHITA, 1997, p. 105.

4.1.2 Primeira grade

A partir da malha irregular descrita no item anterior foi gerada a primeira grade. O espaçamento utilizado foi 15 (quinze) metros, ou seja, aproximadamente 2 (dois) milímetros na escala da fotografia aérea (1:8.000). Foi limitada uma área de 1,7 x 1,7 Km, como mostra a Figura 03, originando uma grade de 116 x 116 pontos.

FIGURA 03 - ÁREA DE TRABALHO DO 1º TESTE



4.1.3 Cálculo do espaçamento

O espaçamento otimizado da grade regular foi calculado a partir de um perfil representativo do terreno. Esse perfil foi retirado de uma das linhas da primeira grade. As altitudes do perfil foram ajustadas pelo MMQ, tendo como modelo matemático a Equação 1. A precisão do equipamento fotogramétrico utilizado na medição foi estimada em 60 μ m, o que corresponde a um erro de aproximadamente 0,5 m no terreno (60 μ m na escala da fotografia aérea).

Esse valor de 0,5 m foi utilizado para definir o número de parâmetros (a_k e b_k) do modelo matemático. Neste teste o ajustamento final foi feito com 16 (dezesseis) parâmetros e 25 (vinte e cinco) observações. O espaçamento otimizado, calculado pela Equação 3, foi 22,5 (vinte e dois e meio) metros.

4.1.4 Segunda grade

Não foi feita uma nova perfilagem com o espaçamento calculado no item anterior. A segunda grade, com espaçamento de 22,5 (vinte e dois e meio) metros, foi gerada a partir da mesma malha irregular utilizada para a criação da primeira grade. Os limites superiores da área de trabalho (Figura 03) foram acrescidos de 7,5 (sete e meio) metros para que se obtivesse um número inteiro de linhas e colunas, obtendo-se uma grade de 78 x 78 pontos.

4.1.5 Avaliação da qualidade

A avaliação da qualidade das grades geradas foi feita pela verificação das altitudes dos pontos comuns e pela comparação das altitudes de pontos de controle interpolados nas próprias grades com as altitudes calculadas na aerotriangulação do projeto. As altitudes dos pontos de controle foram interpoladas da forma descrita no item 3.3.

TABELA 01 - DIFERENÇAS DAS ALTITUDES INTERPOLADAS (m)

Ponto	Dif. 1	Dif. 2	Dif. 3	Dif. 4
31069	0,138	0,093	0,228	0,089
31070	0,698	0,693	0,813	0,788
41053	0,510	0,520	0,576	0,664
41054	0,218	0,249	0,274	0,120
41055	0,503	0,497	1,091	0,685
41056	0,335	0,327	0,075	0,089
41058	0,046	0,039	0,065	0,175
41104	0,003	0,010	0,023	0,084
41105	0,331	0,333	0,365	0,276
41107	0,560	0,486	0,576	0,719
41108	0,634	0,672	0,566	0,912
μ	0,331	0,327	0,388	0,383
σ	0,230	0,232	0,316	0,319

Em função do espaçamento das duas grades (15m e 22,5m) apresentar um mínimo múltiplo comum pequeno (45m), foram encontrados aproximadamente

1.500 pontos comuns. A diferença entre as altitudes desse pontos apresentou um desvio padrão de 0,36m, que é um valor menor que a precisão estimada para o equipamento fotogramétrico utilizado.

A precisão do MDT pode ser obtida pelo desvio padrão das diferenças entre as altitudes conhecidas e as altitudes interpoladas nas grades regulares (BRITO, 1997, p. 103). A Tabela 01 apresenta as diferenças entre as altitudes interpoladas e a altitude conhecida (aerotriangulação). A coluna “Dif. 1” contém as diferenças das altitudes obtidas por interpolação bilinear e a coluna “Dif 2” mostra a diferença da altitude interpolada pela superfície triangular plana, na grade regular de 15 m. As colunas “Dif. 3 e 4” exibem as diferenças correspondentes às altitudes interpoladas na segunda grade, calculadas da mesma forma que as “Dif. 1 e 2”, respectivamente.

A Tabela 01 também mostra a média e o desvio padrão de cada conjunto de diferenças. A precisão da grade regular com espaçamento de 15 m foi da ordem de 0,2 m e a da grade de 22,5 m foi de 0,3 m. Observando os dados apresentados na Tabela 01, verifica-se também que a média das diferenças das altitudes em relação aos pontos de controle são iguais a um nível de significância de 10%. Portanto, as grades geradas possuem a mesma qualidade.

4.2 TESTE RIO VERDE

4.2.1 Caracterização da área

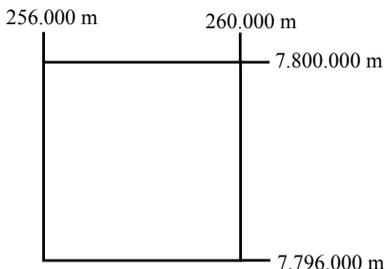
A área escolhida para a realização do segundo teste está situada na zona rural do município de Rio Verde – GO. Foi utilizado um modelo estereoscópico com relevo movimentado ($\Delta Z \cong 70$ m). As fotografias aéreas, em escala de 1:20.000, fazem parte de um projeto de mapeamento planialtimétrico, realizado pela empresa Aerosat Arquitetura e Aerofotogrametria.

4.2.2 Primeira grade

As informações altimétricas para a geração da primeira grade regular foram obtidas num restituidor analógico Wild B-8, pela empresa Datum. O espaçamento utilizado foi de 20 m, em função da escala da fotografia aérea (1 mm na escala da aerofoto). Deste procedimento resultou uma grade aproximadamente regular, devido à impossibilidade de se gerar uma grade regular com o aparelho utilizado.

O conjunto de pontos resultante foi interpolado pelo programa *Surfer*, utilizando o interpolador inverso da distância ao quadrado. Foi definida uma área de trabalho de 4 Km x 4 Km (Figura 04), gerando uma grade regular de 201 x 201 pontos.

FIGURA 04 - ÁREA DE TRABALHO DO 2º TESTE



4.2.3 Cálculo do espaçamento

O espaçamento otimizado da grade regular foi calculado de acordo com a metodologia descrita no item 3.2. A precisão do equipamento fotogramétrico utilizado na medição (Restituídor Wild B-8) foi estimada em 20 μm , o que representa um erro de aproximadamente 0,4 m no terreno (20 μm na escala da fotografia aérea).

Esse valor de 0,4 m foi utilizado para definir o número de parâmetros (a_k e b_k) do modelo matemático. Neste teste o ajustamento final foi feito com 16 (dezesseis) parâmetros e 25 (vinte e cinco) observações. O espaçamento otimizado, calculado pela Equação 3, foi 30 (trinta) metros.

4.2.4 Segunda grade

Após o cálculo do espaçamento otimizado da grade foi feita uma outra medição de altitudes no modelo estereoscópico, utilizando o mesmo equipamento. A grade aproximadamente regular obtida foi interpolada da mesma forma que a primeira (item 4.2.2). Os limites superiores da área de trabalho (Figura 04) foram acrescidos de 20 (vinte) metros para que se obtivesse um número inteiro de linhas e colunas, obtendo-se uma grade de 135 x 135 pontos.

4.2.5 Avaliação da qualidade

Foram encontrados quase 4.500 pontos comuns às grades, um a cada 60 metros. A diferença entre as altitudes desse pontos apresentou um desvio padrão de 0,49 m, que é um valor quase igual à precisão estimada para o equipamento utilizado.

Assim como a Tabela 01, a Tabela 02 mostra as diferenças entre as altitudes interpoladas e a altitude conhecida (aerotriangulação). A precisão da grade regular com espaçamento de 20 m foi da ordem de 0,6 m e a da grade de 30 m foi de 0,8 m.

Observa-se também na Tabela 02 que a média das diferenças das altitudes em relação aos pontos de controle são iguais a um nível de significância de 10%. Portanto, pode-se afirmar que as grades geradas possuem a mesma qualidade.

TABELA 02 - DIFERENÇAS DAS ALTITUDES INTERPOLADAS (m)

Ponto	Dif. 1	Dif. 2	Dif. 3	Dif. 4
3136	0,993	0,997	1,427	1,330
3137	0,165	0,155	0,972	0,973
3138	0,106	0,102	0,979	0,976
3139	0,385	0,387	0,305	0,277
3140	0,825	0,939	0,121	0,178
3141	2,109	2,087	2,416	2,304
4052	0,004	0,069	0,182	0,152
4054	0,490	0,490	2,469	2,454
μ	0,564	0,581	0,986	0,960
σ	0,607	0,603	0,853	0,826

5. CONCLUSÕES

Os dois métodos de interpolação utilizados (interpolação bilinear e interpolação sobre uma superfície triangular plana) para calcular as altitudes dos pontos de controle apresentaram praticamente os mesmos resultados.

No segundo teste as diferenças das altitudes interpoladas na grade gerada com o espaçamento otimizado foram maiores que as encontradas no primeiro teste. Além da diferença de característica do relevo, esse fato pode ser explicado também pela realização de apenas uma medição no primeiro teste.

Na maioria dos pontos de controle as diferenças encontradas no MDT gerado com o espaçamento otimizado foram maiores, como era previsível em função do aumento do espaçamento. Em alguns pontos a diferença no MDT original foi maior, devido provavelmente à posição deste ponto em relação aos pontos da grade.

A comparação entre as grades geradas em cada teste e a análise estatística das médias das diferenças das altitudes interpoladas nos pontos de controle permitem concluir que as duas grades obtidas em cada teste têm qualidades equivalentes. A precisão dos MDTs gerados com os espaçamentos otimizados permite o seu emprego na geração de grande variedade de produtos.

A metodologia proposta apresentou duas grandes vantagens:

- O espaçamento da grade tem relação direta com as características da superfície terrestre; e

- Redução de um terço no volume de dados necessário para modelar o terreno em relação ao espaçamento usado inicialmente.

Outros testes com terrenos de diferentes características deverão ser realizados para verificar o comportamento da metodologia proposta.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, José Bittencourt. **Fotogrametria**. Curitiba: Editora SBEE, 1998.

AUGUSTO, Eduardo Gurgel Garcia. **Normalização de Estereogramas e sua Aplicação na Geração de Modelos Numéricos de Elevações**. Rio de Janeiro, 1999. Dissertação (Mestrado em Engenharia Cartográfica) – Instituto Militar de Engenharia – IME.

BRITO, Jorge Luís Nunes e Silva. **Precision of Digital Orthoimages: Assessment and Application to the Occlusion Detection Problem**. Columbus, Ohio, 1997. PhD Dissertation – Department of Geodetic Science, The Ohio State University.

ISM, International Systemap Corp. **The Fundamentals of Digital Photogrammetry**. Vancouver, 1999. ISM.

MEYER, Paul L. **Probabilidade: Aplicações à Estatística**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora, 1983.

MITISHITA, Edson Aparecido. **Monorestituição Digital de Aerofotos, Associada com Sistema de Computação Gráfica C.A.D., para Fins de Mapeamento na Área Florestal**. Curitiba, 1997. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná – UFPR.

NOVAK, Kurt. **Photogrammetric Mapping**. Columbus, Ohio, 1991. Department of Geodetic Science and Surveying, The Ohio State University.

PETTINATI, F. **Modelamento Digital e Representação Gráfica de Superfícies**. São Paulo, 1983. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – USP.

SHENK, Toni. **Digital Photogrammetry**. Laurelville, Ohio: TerraScience, 1999.

GERAÇÃO DE MODELO DIGITAL DO TERRENO UTILIZANDO A TRIANGULAÇÃO DE DELAUNAY E THIN PLATE SPLINE

Ricardo Luís Barbosa¹
Messias Meneguette Jr.²
João Fernando Custódio da Silva³
Rodrigo Bezerra de Araújo Gallis⁴

- 1 Universidade Estadual Paulista – ricardo@prudente.unesp.br
- 2 Universidade Estadual Paulista – messias@prudente.unesp.br
- 3 Universidade Estadual Paulista – jfcsilva@prudente.unesp.br
- 4 Universidade Estadual Paulista – rodrigo@prudente.unesp.br

RESUMO

A representação do relevo ou terreno é uma componente fundamental no processo cartográfico que, em formato digital, recebe o nome de Modelo Digital do Terreno (MDT) e consiste de um conjunto de dados que explicitam as coordenadas (X, Y, Z) do terreno e a forma como os mesmos estão relacionados.

Na Cartografia, o MDT é utilizado para a geração de ortofotos, mapas topográficos, curvas de nível etc. O Modelo Digital do Terreno, também tem aplicações em outras áreas, como por exemplo na engenharia civil, mapeamento batimétrico, mapeamento geológico e geofísico, simulação e visualização do terreno, engenharia militar entre outras.

Neste trabalho foi implementada em ambiente Delphi um algoritmo para triangular por Delaunay pontos amostrados no terreno e três algoritmos para densificação: uma interpolação linear e quártica, que utilizam a malha triangular; e uma interpolação com *thin plate spline* que não necessita da malha triangular para ser realizada.

Em testes realizados com uma superfície matemática o erro médio quadrático com a interpolação quártica foi de 0,31 e com a *thin plate spline* foi de 0,18; além disso, visualmente o MDT com a *thin plate spline* é mais suave.

O programa permite que o usuário faça alteração na localização dos pontos, inclusão de novos pontos e exclusão de pontos, para que se possa verificar qual a influência de determinados pontos sobre o modelo.

Palavras-chave: MDT; triangulação de Delaunay; interpolação; thin plate spline.

ABSTRACT

The relief representation is a basic component in the cartographic process that, in digital format, receives the name of Digital Terrain Model (DTM). DTM is a set of coordinates (X, Y, Z) of ground surface points and their topological relationship. In Cartography, DTM is used for the generation of orthophotos, topographical maps, contours of high quality, etc. DTM also has applications in other areas, such as civil engineering, batimetric mapping, geologic and geophysical mapping, land simulation and visualization, and military engineering among others.

The Delaunay triangulation is used to generate irregular mesh with sampled points and it works as a basis for DTM densification. The authors show a Delaunay triangulation algorithm and two interpolation algorithms (linear and quintic) with the triangulated mesh. A third algorithm (thin plate spline) interpolates a mesh of regular points without the need of Delaunay triangulation. All the algorithm were implemented in Delphi environment. Tests carried on a mathematical surface with the quintic interpolation gave a root mean square error (rmse) of 0.31 and with thin plate spline the rmse was 0.18. Moreover, the DTM with thin plate spline is visually smooth. The computer program allows the user to change the point localization, to include new points and point exclusion, so that one can verify the influence of certain points on the model.

Keywords: DTM; Delaunay triangulation; interpolation; thin plate spline

1. INTRODUÇÃO

A representação do relevo ou terreno é uma componente fundamental no processo cartográfico que, em formato digital, recebe o nome de Modelo Digital do Terreno (MDT) e consiste de um conjunto de dados que explicitam as coordenadas (X, Y, Z) do terreno e a forma como os mesmos estão relacionados.

Petrie & Kennie (1990) afirmam que a expressão “modelo digital do terreno” (MDT) apareceu pela primeira vez no artigo *The digital terrain model – theory and applications*, publicado na revista *Photogrammetric Eng. n.3, V.24, pp. 433-442, 1958*, dos autores Charles Miller e R. A. LaFlamme, ambos do Instituto de Tecnologia de Massachusetts (MIT), com a seguinte definição: “*The digital terrain model (DTM) is simply a statistical representation of the continuous surface of the ground by a large number of selected points with known X, Y, Z coordinates in an arbitrary coordinate field*” (O modelo digital do terreno (MDT) é simplesmente uma representação estatística da superfície contínua do terreno por um grande

número de pontos selecionados com conhecimento de X, Y, Z em um sistema de coordenadas arbitrário).

Alguns autores (Andrade, 1998) preferem usar o termo Modelo Digital de Elevação (MDE) para designar apenas a elevação da superfície e o termo MDT significando um modelo mais completo do terreno, incluindo outras feições, tais como: casas, prédios, vegetação, árvores etc. Na literatura de língua inglesa DTM é a sigla para *Digital Terrain Model* e DEM é a sigla para *Digital Elevation Model*. Os termos DTM e DEM são usados como sinônimos na Europa (Ackermann, 1996).

O MDT é utilizado para a geração de ortofotos, mapas topográficos, mapeamento batimétrico, mapeamento geológico e geofísico, simulação e visualização do terreno.

Para produzir um MDT são necessárias cinco etapas principais: aquisição, representação, interpolação, checagem e edição. Checagem e edição são as etapas de validação e refinamento do modelo e não serão tratadas em detalhes neste trabalho, cuja ênfase será em representação e interpolação.

2. AQUISIÇÃO DOS DADOS

Os dados para a criação do MDT podem ser gerados (ou amostrados) de várias maneiras, como por exemplo, utilizando métodos analógicos para a extração das coordenadas (X, Y, Z) e posterior transferência para o computador, ou fazendo-se uso de técnicas digitais de forma semi-automática ou automática.

Existem vários métodos para se obter os dados do MDT, os principais deles são (Petrie & Kennie, 1990): levantamento topográfico, técnicas fotogramétricas e técnicas cartográficas. Estes dados constituem a base do Modelo Digital do Terreno e se necessário pode ser realizada uma densificação (interpolação).

A manipulação dos dados amostrados exige uma estrutura que represente suas relações topológicas, minimize o espaço de armazenamento e seja eficiente na interpolação e visualização.

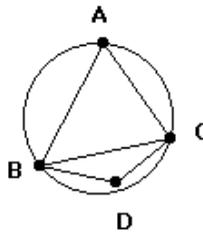
Uma das estruturas mais comuns é a malha triangulada irregular (TIN-*Triangulated Irregular Network*) e dentre essas, a triangulação de Delaunay é uma das mais utilizadas, e por definição é a única triangulação do plano onde não existem pontos no interior dos circuncírculos dos triângulos.

3. TRIANGULAÇÃO DE DELAUNAY

A triangulação de um conjunto de pontos no plano é um conjunto de triângulos cujos vértices são estes pontos e o interior dos triângulos não se interceptam e a união é o fecho convexo destes pontos.

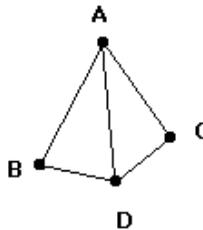
Uma triangulação é de Delaunay se e somente se os circuncírculos dos triângulos são vazios (critério do círculo). Considere os seguintes quatro pontos A, B, C, D formando uma triangulação. O triângulo 1 é formado pelos vértices ABC e o triângulo 2 é formado pelos vértices BDC. O circuncírculo do triângulo 1 não é vazio pois contém o ponto D:

FIGURA 01 - TRIANGULAÇÃO NÃO DELAUNAY



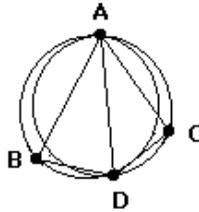
Para essa triangulação ser de Delaunay, é necessário fazer a troca da aresta BC com a AD, esse processo de troca de arestas é chamado de *flipping*, e o triângulo 1 passa a ser formado pelos vértices ABD e o triângulo 2 por ADC, trocando a aresta BC pela aresta AD:

FIGURA 02 - TROCA DE ARESTAS



Nessa nova triangulação, os circuncírculos são vazios:

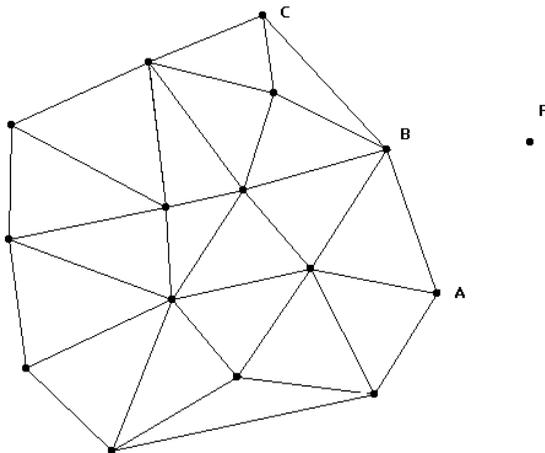
FIGURA 03 - CRITÉRIO DO CÍRCULO



Nesse trabalho o algoritmo utilizado é o incremental: o par de pontos mais próximos forma a primeira aresta, e com o vértice mais próximo do ponto médio dessa aresta o primeiro triângulo é formado. Em seguida, os outros vértices vão sendo incluídos em função da menor distância em relação ao ponto médio da primeira aresta. A cada novo triângulo formado, o critério do círculo é utilizado para verificar se uma troca de arestas deve ser feita ou não (*flipping*).

Para inserir um novo ponto, é necessário, além dos triângulos, saber quem é o fecho convexo atual (ou a borda). No exemplo da figura 04, o ponto **P** é o próximo a ser inserido. Os novos triângulos são construídos com as arestas que são visíveis à **P**, no caso as arestas **AB** e **BC**:

FIGURA 04 - INSERÇÃO DE UM NOVO PONTO



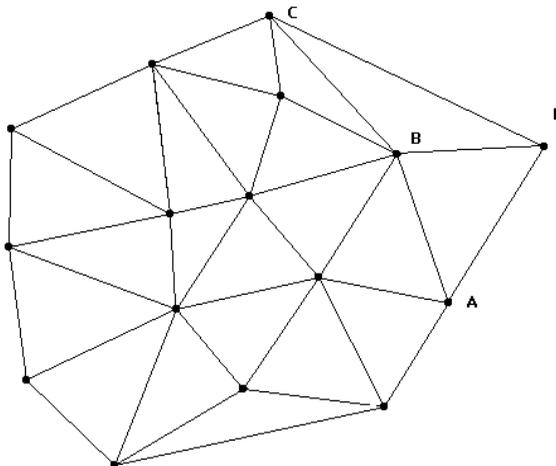
É necessário determinar quais são as arestas visíveis pelo ponto **P**. Considerando as arestas que formam o fecho convexo, verifica-se qual é o ponto mais a esquerda e o ponto mais a direita de **P**. As arestas entre o ponto mais a esquerda e o ponto mais a direita são as arestas visíveis. Tomando-se o vetor **PA** (referência) e o vetor **PB**, o sinal do determinante (*s*) indica se o ponto **B** está a esquerda (positivo) ou a direita (negativo) de **A**:

$$\begin{aligned} \overrightarrow{PA} &= A - P = (X_A - X_P, Y_A - Y_P) \\ \overrightarrow{PB} &= B - P = (X_B - X_P, Y_B - Y_P) \end{aligned} \tag{01}$$

$$s = \begin{vmatrix} X_A - X_P & Y_A - Y_P \\ X_B - X_P & Y_B - Y_P \end{vmatrix}$$

No exemplo da figura 04, para determinação do ponto mais a esquerda de **P**, o sinal do determinante será sempre negativo, pois o ponto mais a esquerda será o ponto **A**. Na determinação do ponto mais a direita, o ponto de referência muda quando o sinal do determinante for negativo. O ponto de referência passa a ser o **B** e finalmente o ponto **C**. Assim, as arestas entre **A** e **C** formam os novos triângulos com o ponto **P**:

FIGURA 05 - NOVOS TRIÂNGULOS FORMADOS



Após a formação dos novos triângulos (**APB** e **BPC**), a borda é atualizada eliminando as arestas visíveis e inserindo as arestas **AP** e **PC**. O critério do círculo é verificado para os novos triângulos e se necessário é realizada a troca de arestas.

Quando todos os pontos estiverem inseridos, o critério do círculo é realizado novamente para verificar se possíveis trocas precisam ser feitas. O resultado final desse processo é a Triangulação de Delaunay no plano.

Uma superfície interpolada é dependente da forma dos seus triângulos. Medidas típicas da qualidade da triangulação analisam o maior ou o menor dos ângulos, a razão entre a menor e a maior de suas arestas, a razão entre os raios dos círculos inscrito e circunscrito etc., tendo por parâmetro a relação equivalente no triângulo equilátero. A medida de qualidade da malha é dada pelo elemento de pior medida (Shewchuk, 1999).

O critério utilizado na Triangulação de Delaunay é o de maximização dos ângulos mínimos de cada triângulo. Isto é equivalente a dizer que a malha final deve conter triângulos o mais próximo de equiláteros possível, evitando-se a criação de triângulos finos, ou seja, triângulos com ângulos internos muito agudos.

4. INTERPOLAÇÃO

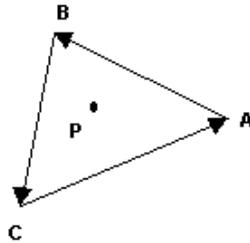
A escolha da função de interpolação é decisiva para se obter uma boa precisão do MDT. Segundo McCullagh (1988), os requisitos desejáveis para uma função interpoladora são: que reproduza uma superfície contínua; o tempo de computação não seja proibitivo e que tenha propriedades matemáticas de interesse para a aplicação.

Em geral são utilizados dois métodos de interpolação (Yamamoto, 1998): global e local. Os métodos globais levam em consideração todos os pontos que foram amostrados, ajustando alguma função que passe por todos esses pontos. Os métodos locais são influenciados por pontos que estejam em uma certa vizinhança, diminuindo sua contribuição à medida em que a distância ao ponto interpolado aumenta.

Existe uma variedade muito grande de técnicas de interpolação (Lancaster & Salkauskas, 1990): linear, quártica, multiquádrica, inverso da distância ponderada etc. Nesse trabalho, foram implementadas a interpolação linear e a quártica e também a *thin plate spline*.

Para densificar o MDT é gerada uma malha regular no plano e interpola-se os pontos desta malha que são interiores aos triângulos. Para cada ponto da malha, deve-se verificar a qual triângulo ele é interior:

FIGURA 06 - DETERMINAÇÃO DO TRIÂNGULO CONTENDO O PONTO



Se o sinal do determinante dos conjuntos de vetores $(\mathbf{AB}, \mathbf{AP})$, $(\mathbf{BC}, \mathbf{BP})$ e $(\mathbf{CA}, \mathbf{CP})$ for positivo então o ponto \mathbf{P} é interior ao triângulo \mathbf{ABC} . Se for negativo em qualquer um deles, o ponto é exterior a este triângulo.

4.1 Interpolação Quíntica

Uma interpolação muito utilizada juntamente com a Triangulação de Delaunay é uma função interpoladora bivariada quíntica (Akima, 1978) com garantia de continuidade C^1 globalmente, ou seja, a função interpoladora é contínua e a derivada de primeira ordem também é contínua, o que garante a suavidade da superfície interpolada.

Um polinômio bivariado de grau p é dado por (Lancaster & Salkauskas, 1990):

$$z(x, y) = \sum_{i=0}^p \sum_{j=0}^{p-i} a_{ij} x^i y^j \quad (02)$$

o número de coeficientes (n_c) necessários é dado pela expressão:

$$n_c = \frac{(p+1)(p+2)}{2} \quad (03)$$

Para o polinômio quíntico bivariado de Akima, são necessários 21 coeficientes. As condições utilizadas são: o valor da função em cada vértice do triângulo (03), as

suas derivadas parciais de primeira e segunda ordem (15) e a normal em cada ponto médio das três arestas (03).

Para estimar as derivadas parciais em cada vértice utiliza-se os vizinhos de Voronoi, que por definição são os pontos que compartilham o mesmo triângulo. É realizado o produto vetorial através da combinação de dois a dois vetores, formados pelos pontos vizinhos. A inclinação do plano perpendicular ao vetor soma são as derivadas na direção X e Y.

As aproximações para as derivadas de segunda ordem são feitas da mesma maneira substituindo a componente Z pela aproximação da derivada de primeira ordem.

4.2 Thin Plate Spline

Um interpolante *thin plate spline* (TPS) pode ser ilustrado fisicamente como sendo uma chapa fina de metal, se estendendo para o infinito, presa em alguns pontos de controle, de tal forma que a energia necessária para isto, seja mínima desprezando-se a energia elástica e a energia gravitacional (Bookstein, 1989).

O TPS aparece na literatura com outros nomes (Yu, 2001): spline de curvatura mínima, splines biharmônico e superfície spline. No passado as indústrias de aviação, automobilística e naval, usavam uma régua longa de metal para desenhar curvas e superfícies, que era chamada de spline e cujo equivalente matemático é a spline cúbica natural. No Brasil, tentou-se traduzir ou interpretar *spline* como que semelhante à curva francesa, tão bem conhecida dos desenhistas-cartógrafos.

Dados os pontos de controle (x_i, y_i, z_i) , com $i = 1, 2, \dots, n$, onde x, y são coordenadas conhecidas e z é o valor desejado, a expressão para o TPS é:

$$z(x, y) = a_0 + a_1x + a_2y + \sum_{i=1}^n F_i r_i^2 \ln r_i^2$$

com

$$z(x_k, y_k) = z_k, \quad k = 1, 2, \dots, n$$

(04)

onde

$$r_i^2 = (x - x_i)^2 + (y - y_i)^2, \quad F_i, a_0, a_1 \text{ e } a_2$$

são os $n+3$ coeficientes.

Para gerar uma nova superfície que passa pelos n pontos e tenha todas as derivadas, o termo $r^2 \ln r^2$ pode ser trocado por $r^2 \ln(r_i^2 + \mathbf{e})$:

$$z(x, y) = a_0 + a_1 x + a_2 y + \sum_{i=1}^n F_i r_i^2 \ln(r_i^2 + \mathbf{e}) \quad (05)$$

O parâmetro ε usualmente é tomado entre 10^{-2} e 10^{-6} , dependendo do grau da variação da curvatura da superfície (Yu, 2001).

Os coeficientes são determinados a partir de:

$$z_k = a_0 + a_1 x_k + a_2 y_k + \sum_{i=1}^n F_i r_{ik}^2 \ln(r_{ik}^2 + \mathbf{e}) \quad (06)$$

onde

$$r_{ik}^2 = (x_i - x_k)^2 + (y_i - y_k)^2.$$

Na forma matricial:

$$AX = B$$

$$A = \begin{bmatrix} 0 & r_{12}^2 \ln(r_{12}^2) & \cdot & \cdot & r_{12n}^2 \ln(r_{12n}^2 + \mathbf{e}) & 1 & x_1 & y_1 \\ r_{12}^2 \ln(r_{12}^2) & 0 & \cdot & \cdot & r_{2n}^2 \ln(r_{2n}^2 + \mathbf{e}) & 1 & x_2 & y_2 \\ \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot \\ r_{1n}^2 \ln(r_{1n}^2 + \mathbf{e}) & r_{2n}^2 \ln(r_{2n}^2 + \mathbf{e}) & \cdot & \cdot & 0 & 1 & x_n & y_n \\ 1 & 1 & \cdot & \cdot & 1 & 0 & 0 & 0 \\ x_1 & x_2 & \cdot & \cdot & x_n & 0 & 0 & 0 \\ y_1 & y_2 & \cdot & \cdot & y_n & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$X = [F_1 \quad \dots \quad F_n \quad a_0 \quad a_1 \quad a_2]^t \quad B = [z_1 \quad \dots \quad z_n \quad 0 \quad 0 \quad 0]^t \quad (07)$$

A matriz A é simétrica e os elementos da diagonal principal são nulos. Resolvendo o sistema os coeficientes ficam determinados e consequentemente pode-se interpolar qualquer ponto (x, y) .

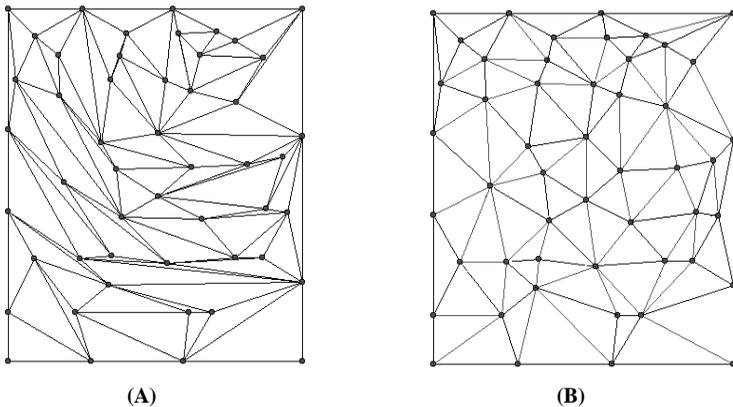
5 RESULTADOS E CONCLUSÃO

Foi implementado um programa no ambiente Delphi 5.0, onde o usuário pode entrar com os pontos amostrados via arquivo texto, ou marcar na tela os pontos no plano e informar via teclado a coordenada Z , ou ainda gerar uma quantidade de pontos aleatoriamente.

A triangulação de Delaunay é efetuada e mostrada para o usuário, que pode alterar, excluir ou inserir pontos interativamente.

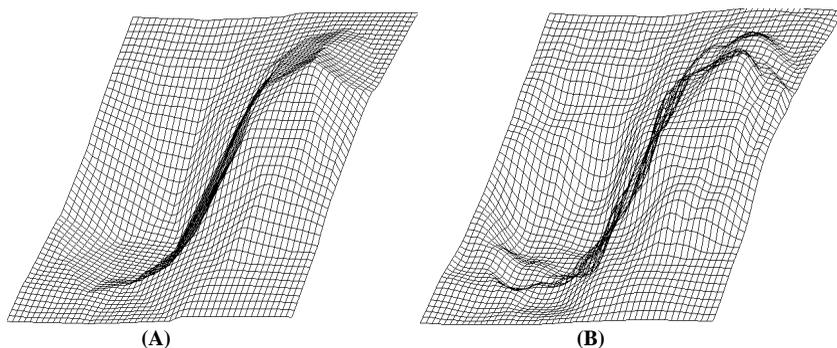
O usuário escolhe a opção da interpolação linear, quártica ou *thin plate spline*. Após a geração do MDT, a superfície é visualizada. A figura 7 ilustra a triangulação inicial e a de Delaunay de 50 pontos amostrados aleatoriamente da função $xe^{-x^2-y^2}$, no intervalo $[-2, 2]$:

FIGURA 07 - TRIANGULAÇÃO INICIAL (A) E DE DELAUNAY (B)



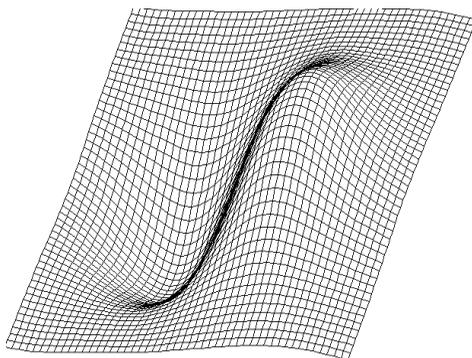
Após a triangulação de Delaunay, foi gerada uma interpolação linear e quártica sobre uma malha regular de dimensão 50×50 :

FIGURA 08 - MDT COM INTERPOLAÇÃO LINEAR (A) E QUINTICA (B)



A mesma interpolação foi realizada com a *thin plate spline*:

FIGURA 09 - MDT COM A *THIN PLATE SPLINE*



Visualmente percebe-se a suavidade da superfície TPS em relação a quintica e a linear. Também foi calculado o erro médio quadrático: na interpolação quintica foi de 0,31 e na interpolação TPS foi de 0,18. Esse resultado preliminar mostra que a interpolação com a TPS apresenta melhor resultado além de ser mais fácil a sua implementação computacional

Em futuros trabalhos, pretende-se realizar um levantamento com a tecnologia GPS e com pontos de verificação estimar o erro cometido entre a interpolação quintica e a *thin plate spline*.

REFERÊNCIAS

- ACKERMANN, F. Techniques and strategies for DEM generation. **Digital photogrammetry : in addendum to the manual of photogrammetry**, Amer. Soc. for Photogramm. & Remote Sensing, pp. 135-141, 1996.
- ANDRADE, J. B. **Fotogrametria**. Curitiba: SBEE, 1998. 258p.
- AKIMA, H. A method of bivariate interpolation and smooth surface fitting for irregularly distributed data points. **ACM Trans. On Math. Software**, v.4, n.2, p.148-159, 1978.
- BOOKSTEIN, F. L. Principal Warps: Thin-Plate Splines and the Decomposition of Deformations. **IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence**, v.11, n.6, p.567-85, 1989.
- LANCASTER, P. & SALKAUSKAS, K. **Curve and surface fitting: an introduction**. Academic Press, 1990.
- McCULLAGH, M. J. Terrain and surface modelling systems: theory and practice. **Photogrammetric Record**, v.72, n.12, p.747-779, 1988.
- PETRIE, G. & KENNIE, T. J. M. **Terrain modelling in surveying and civil engineering**. Caithness:Whittles, 1990.
- SHEWCHUK, J. R. **Lecture notes on Delaunay Mesh generation**, 1999.
- YAMAMOTO, J. K. A review of numerical methods for the interpolation of geological data. **Anais Academia Brasileira de Ciências**, v.1, n.70, 1998.
- YU, Z. W. Surface interpolation from irregularly distributed points using surface splines, with Fortran program. **Computers & Geosciences**, n. 27, 877-882, 2001.

SISTEMA BASEADO EM CONHECIMENTO PARA DEFINIÇÃO DA LINGUAGEM CARTOGRÁFICA

Eliana Pantaleão¹
Claudia Robbi Sluter²

- 1 Universidade Federal do Paraná e Pontifícia Universidade Católica do Paraná – panta@rla01.pucpr.br
- 2 Universidade Federal do Paraná – robbi@ufpr.br

RESUMO

O sistema proposto neste artigo é um sistema de apoio à decisão que ajuda o usuário a escolher adequadamente as variáveis visuais utilizadas na representação de um fenômeno. As decisões são baseadas em conceitos de projeto cartográfico temático e na percepção humana das diferentes formas de visualização. Com o objetivo de avaliar as regras necessárias para esta tarefa, foi construído um protótipo no ambiente Expert SINTA/DISE, disponibilizado pela Universidade Federal do Ceará. Esta ferramenta utiliza um modelo de representação do conhecimento baseado em regras de produção e fatores de confiança. Para fornecer o vocabulário adequado para a construção das regras da base de conhecimento, foi utilizada uma ontologia, que define e relaciona os conceitos de projeto cartográfico temático envolvidos na tomada de decisão. Esta ontologia foi construída com o auxílio do software Protégé-2000, desenvolvido na Universidade de Stanford (Estados Unidos). O sistema final está sendo implementado no ambiente Microsoft Visual C++, utilizando a biblioteca MFC (Microsoft Foundation Classes) para a construção das interfaces. Com o auxílio de um sistema baseado em conhecimento, o usuário pode ser guiado pelo software a seguir as etapas de um projeto cartográfico de qualidade, com algumas soluções “default” satisfatórias. Os resultados esperados são mapas com melhor poder de representação do fenômeno, possibilitando sua análise por planejadores e demais usuários. Ainda se pode esperar mapas com maior possibilidade de revelar conhecimento, ou seja, padrões espaciais que só se tornam visíveis quando a informação é visualizada. Além disso, a formalização do conhecimento cartográfico, poderá auxiliar no desenvolvimento de bases de conhecimento para, por exemplo, generalização automática e múltiplas representações em bancos de dados geográficos.

Palavras-chave: Cartografia Temática, Visualização Cartográfica, Sistema Baseado em Conhecimento

ABSTRACT

This paper presents a decision support system to help users to properly define the visual variables used to represent a geographic phenomenon. The decisions are based on thematic map design concepts and human visual perception. In order to evaluate the necessary rules that underlie the system decisions, a prototype was built using the Expert Sinta environment, developed in the Federal University of Ceará. This environment uses a knowledge representation model based on production rules and confidence rates. An ontology was used to characterize the suitable vocabulary for the construction of the knowledge base rules. This ontology defines the thematic map design concepts related to decision-making and the connections between them. It was built with Protégé-2000 software, developed by the Stanford University (USA). The definitive system was implemented in Microsoft Visual C++ and the MFC (Microsoft Foundation Classes) library to build the interfaces. The knowledge-based system guides the user through the stages of a good quality map design with some reasonable default solutions. The expected results are better maps and a more powerful phenomenon representation, from which planners and other users can develop better and broader spatial analysis. Maps with greater possibility to reveal knowledge are also expected. They depict spatial patterns that only become clear when the information is properly visualized. Besides, the formalization of the cartographic knowledge can support the development of other knowledge bases, such as bases for automatic generalization and multiple representation in geographic databases.

Keywords: Thematic Mapping, Map Visualization, Knowledge-Based System

1. INTRODUÇÃO

Os mapas são importantes ferramentas para os profissionais ligados ao planejamento, em geral. Eles mostram como um fenômeno se comporta espacialmente fornecendo ao gestor uma rápida noção de sua distribuição e localização. Neste tipo de aplicação, é comum que o mapa seja gerado a partir de dados em um sistema de informações geográficas (SIG) pelo próprio usuário que, em geral, possui poucos conhecimentos em cartografia temática. O resultado são mapas com pouca qualidade, pouco poder de comunicação, muitas vezes mascarando, ao invés de enfatizar, aspectos relevantes na distribuição espacial do fenômeno (DORLING; FAIRBAIN, 1997). Torna-se então apropriado que o SIG ou

sistema de visualização cartográfica possui recursos para auxiliar o usuário na construção de mapas, de acordo com os conceitos de comunicação cartográfica.

Com a popularização do uso de sistemas de informações geográficas e a relativa “facilidade” na geração de mapas através dos mesmos, cada vez mais pessoas estão produzindo mapas, nem sempre com os conhecimentos cartográficos adequados (DORLING; FAIRBAIN, 1997). Para que a comunicação cartográfica seja melhorada, um nível maior de automatização de decisões pode ser incluído neste tipo de software. Muitos aspectos do processo cartográfico demandam julgamento e aplicação de princípios estéticos, que são subjetivos e dependem de decisões tomadas interativamente pelo usuário durante o processo de construção do mapa (BUTTENFIELD; MARK, 1994). Para que esta interação seja minimizada e restrita aos aspectos mais relevantes do projeto cartográfico, um sistema inteligente pode fornecer suporte ao seu operador, apresentando soluções satisfatórias por “default”.

2. PROJETO CARTOGRÁFICO TEMÁTICO

O projeto de mapas inclui todo o processo através do qual os mapas são construídos. Envolve a abstração e a representação de detalhes do mundo real. Suas etapas incluem a definição do objetivo do mapa, a pesquisa do material-fonte, a atualização da base cartográfica, escolha da escala adequada, classificação das informações e a determinação de sua dimensão espacial e nível de medida, a escolha da variável visual, especificação dos símbolos, a generalização gráfica e a avaliação do resultado (SGK, 1977).

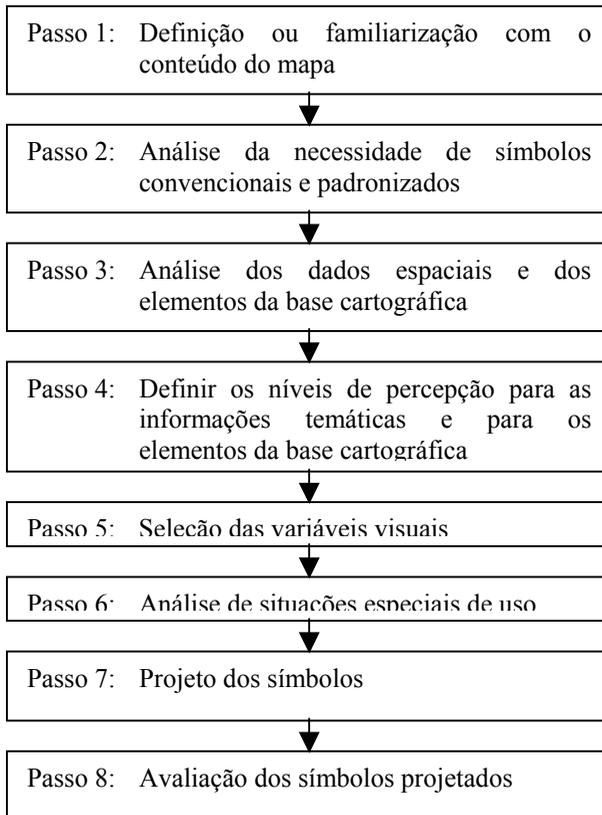
O símbolo, no projeto cartográfico, é definido por uma marca gráfica e um significado a ela atribuído. Este significado é transmitido ao usuário através da legenda. Diferentes conceitos devem ser representados através de diferentes símbolos e a escolha da linguagem utilizada é um passo importante no projeto cartográfico. A maioria dos sistemas de informações geográficas disponibiliza diversas ferramentas para que o usuário modifique a aparência de seus mapas temáticos. Também costumam possuir tutoriais ou sistemas de ajuda que auxiliam o usuário em como realizar estas alterações. Entretanto, em geral não estão disponíveis sugestões ou auxílios quanto à qualidade das modificações realizadas (BERGMAN; ROGOWITZ; TREINISH, 1995).

Algumas preocupações básicas devem nortear a escolha dos símbolos cartográficos. Como o objetivo do mapa é transmitir uma mensagem, a escolha dos símbolos deve facilitar a recepção e entendimento desta mensagem por parte do usuário (ROBBI, 2000). Assim, deve-se considerar aspectos como a percepção visual das cores, a visibilidade (dimensão mínima) dos símbolos utilizados, adequado nível de contraste (diferenciação) entre diferentes símbolos e a familiaridade que o usuário possa ter com alguma representação. Esta última pode ser exemplificada com o uso de símbolos pictóricos, como uma árvore ou um avião,

e também pela utilização, por exemplo, da cor azul para representar a água e verde para a vegetação.

BOS (1984) apresenta um diagrama para o projeto dos símbolos (Figura 1). BOS (1984) afirma que o projeto de símbolos não é um evento intuitivo ou artístico, mas deve ser visto como um processo intelectual, consistindo de uma série de passos que seguem uma ordem lógica.

FIGURA 1 – DIAGRAMA DE PROJETO DE SÍMBOLOS



FONTE: BOS, 1984, adaptado pela autora.

O objetivo do mapa representa um papel fundamental em todas estas etapas. No primeiro passo, o cartógrafo deve estar familiarizado com o objetivo e o conteúdo do mapa para que possa definir o tamanho do mapa, a escala e a projeção a ser utilizada. O segundo passo é importante pois, se um mapa pode ser projetado com símbolos padronizados, não há razão para que novos símbolos sejam criados. Caso

esta solução seja suficiente para representar todas as informações presentes no mapa, o projeto chega ao fim. Caso contrário, novos símbolos devem ser projetados para as informações restantes. A análise dos dados espaciais deve incluir a análise da informação a ser visualizada – o tema – quanto à dimensão espacial, classificação e nível de medida. Um dos resultados desta etapa são os níveis de percepção necessários para cada elemento a ser representado.

Um mapa não está completo se não estiver relacionado com uma base topográfica de referência, cujo conteúdo depende do objetivo do mapa e das próprias informações temáticas. Embora, em geral, os elementos da base terão níveis de percepção menores que os elementos do tema, pode haver certa variação no nível de percepção destes elementos, dependendo de sua função em relação ao tema.

BOS (1984) prevê a análise de situações especiais de utilização do mapa, como situação de iluminação específica, mapas mostrados na televisão, utilização em veículos em movimento e outras. Apenas após estas análises pode-se realizar o projeto de símbolos propriamente dito.

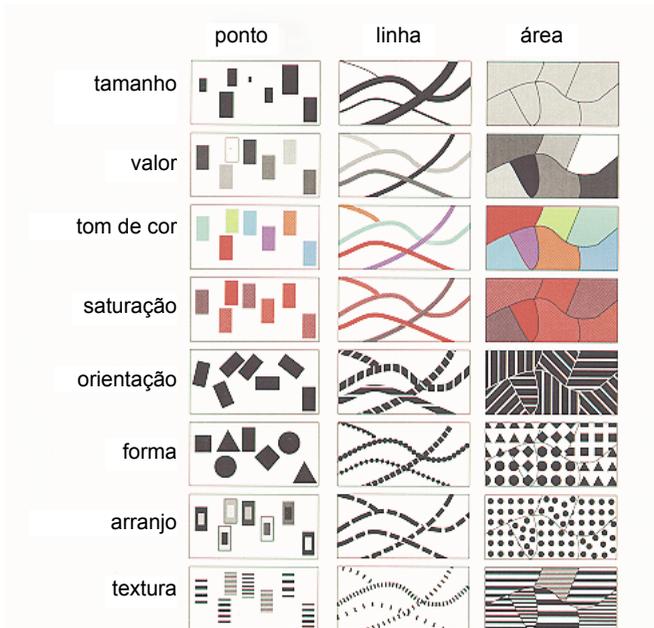
Este processo proposto por BOS (1984) termina com a avaliação dos símbolos projetados. Além da visibilidade e legibilidade, os símbolos devem ser considerados já em sua aplicação no mapa, em conjunto com os outros símbolos. A interação entre todos os símbolos do mapa deve ser analisada em relação à mensagem que o mapa deve transmitir.

O passo chave para projetar e construir um mapa inteligível é equiparar o tipo de contraste entre os símbolos, com o tipo de contraste dos objetos ou conceitos representados (MACEACHREN, 1994). Para isso, é necessário considerar a dimensão espacial das feições mapeadas, o nível de medida do fenômeno e as primitivas gráficas que serão utilizadas para representar as feições. A definição da dimensão geográfica do fenômeno depende da escala de representação. Uma cidade pode ser representada como uma área em uma escala grande, como um ponto em uma escala menor, ou nem ser representada em uma escala muito pequena (DENT, 1999).

Após a determinação da dimensão espacial do fenômeno, é necessário determinar seu nível de medida, que pode ser: nominal, ordinal, intervalar e de razão. No nível de medida nominal, os dados são agrupados em categorias distintas. De acordo com suas semelhanças e diferenças, são agrupados em classes, mas não é observada nenhuma ordem específica entre as classes. No nível ordinal, os dados são categorizados e ordenados. Caso exista uma indicação explícita da diferença numérica entre duas classes, o nível de medida é numérico (SLOCUM, 1999). Assim, os níveis de medida podem ser considerados progressivos: todos os fenômenos são definidos no nível nominal, pois representam diferentes classes; destes, alguns podem ser ordinais, por estar definida uma ordem entre as classes; se esta ordem se dá numericamente, o nível é numérico.

As variáveis visuais são as variações das primitivas gráficas ponto, linha e área. A comunicação eficiente da informação cartográfica depende da relação adequada entre o nível de medida e as variações da primitiva gráfica (ROBBI, 2000). Algumas das variáveis visuais são tamanho, forma, valor de cor (luminosidade), tom de cor, saturação de cor e textura (Figura 2). O tom de cor é a variação qualitativa da cor, definido pelo seu comprimento de onda no espectro visível. A luminosidade ou valor de cor é a quantidade de luz branca incidente na cor. A saturação é o quanto a cor se afasta da cor neutra (cinza). Quanto mais saturada a cor, menos presença de branco ou preto (cinza) (SLOCUM, 1999). A textura pode ser definida como a frequência espacial dos componentes de um padrão, que podem ser marcas gráficas pontuais ou lineares (MACEACHREN, 1994).

FIGURA 2 – APARÊNCIA DAS VARIÁVEIS VISUAIS



FONTE: MACEACHREN, 1994, adaptado por ROBBI, 2000

A definição da variável visual está diretamente ligada ao nível de medida do fenômeno (Figura 3). Para dados numéricos, a variável visual mais adequada é “tamanho”. Entretanto, esta só pode ser utilizada sobre as primitivas gráficas “ponto” e “linha”. Para a primitiva gráfica “área”, pode ser utilizada a variável “valor de cor”, “saturação”, ou uma combinação de ambas. Entretanto, o efeito percebido é apenas ordinal, e não quantitativo.

FIGURA 3 – RESULTADOS ESPERADOS DA UTILIZAÇÃO DAS VARIÁVEIS VISUAIS PARA A REPRESENTAÇÃO DE FENÔMENOS COM DIFERENTES NÍVEIS DE MEDIDA

	numérico	ordinal	nominal
Localização	B	B	B
Tamanho	B	B	P
Luminosidade	M	B	P
Saturação	M	B	P
Tom de cor	M	M	B
Textura	M	M	B
Orientação	M	M	B
Arranjo	P	P	M
Forma	P	P	B

B = bom M = efeito marginal P = pobre

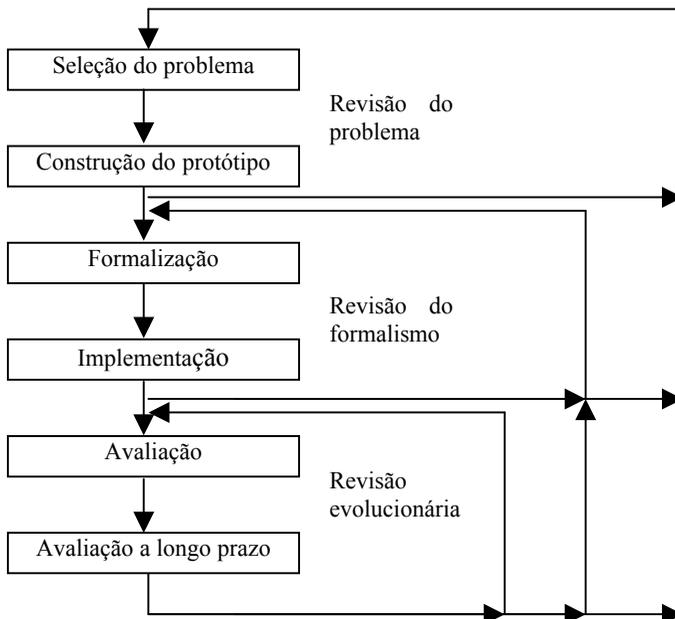
FONTE: MACEACHREN, 1994, adaptado por ROBBY, 2000

Após a escolha da variável visual, algumas recomendações ainda podem ser destacadas. Quando são utilizados diferentes tons, todos devem apresentar a mesma luminosidade. Ao se trabalhar com nível de medida ordinal, o número de classes necessárias para representar um fenômeno deve influenciar na escolha do tom de cor, que sofrerá variação em luminosidade. Cores como o amarelo não permitem a diferenciação em mais que três ou quatro valores, ao contrário do azul ou vermelho. A capacidade de percepção das cores pelo olho humano oferece uma base teórica para a automatização deste tipo de decisão. A teoria dos processos oponentes (HERING, 1978 apud SLOCUM, 1999) estabelece que a percepção das cores é baseada em três canais: um canal claro-escuro e dois com os pares de cores contrastantes vermelho-verde e azul-amarelo. Enquanto é possível perceber misturas de cores de canais diferentes, como vermelho-azul, vermelho-amarelo, verde-azul e verde-amarelo, cores do mesmo canal trabalham em oposição entre si, ou seja, não se misturam em nossa retina. O contraste existente entre tais combinações faz com que sejam apropriadas para a representação de dados bipolares, ou seja, que possuem um ponto de divisão significativo, como temperaturas positivas e negativas, ou valores abaixo e acima da média.

3. METODOLOGIA

A solução proposta para este sistema é a construção de um sistema baseado em conhecimentos para a definição da linguagem cartográfica. O desenvolvimento deste sistema foi realizado de acordo com as etapas propostas por ROLSTON (1988), que seguem um modelo iterativo e interativo (Figura 4). De acordo com esta metodologia, é construído um protótipo funcional e este é avaliado tanto pelo seu construtor quanto pelo especialista do domínio.

FIGURA 4 – MODELO DO CICLO DE VIDA DE DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS ESPECIALISTAS



FONTE: ROLSTON, 1988

A seleção do problema a ser resolvido deve considerar aspectos como a aplicabilidade da técnica para o domínio avaliado, o escopo do problema e a disponibilidade do especialista. Uma vez determinado o problema, deve ser construído um protótipo que representa uma pequena parte do sistema final. O propósito fundamental deste protótipo é aprender mais sobre o domínio (ROLSTON, 1988). Além disso, o protótipo pode ser útil para avaliar as decisões de projeto iniciais e para verificar a viabilidade do sistema. Segundo RUSSELL e NORVIG (1995), deve-se entender suficientemente o domínio para saber que fatos necessitam ser representados e quais podem ser ignorados.

A próxima tarefa é a formalização, que consiste no projeto do sistema. Esta etapa inclui o registro de todas as decisões de projeto como estratégias de implementação, modos de teste, pontos de controle, enfim, o planejamento da implementação do sistema. Quanto maior é o sistema, mais importante esta etapa se revela (ROLSTON, 1988). Deve-se decidir sobre o vocabulário, ou seja, construir uma ontologia do domínio. Ela determina que tipos de coisas existem para esta

aplicação (RUSSELL; NORVIG, 1995). A seguir, o sistema é implementado em alguma linguagem ou ambiente desenvolvido para este fim. Nesta fase são realizados a revisão do protótipo, a aquisição do conhecimento central e o desenvolvimento de programas auxiliares, como, por exemplo, de interface com o usuário (ROLSTON, 1988).

Na fase de avaliação, algumas dificuldades podem surgir. Para muitos domínios é impossível identificar uma resposta como “absolutamente correta” para um dado problema. O que se avalia é se a resposta é compatível com a resposta que um especialista daria para o problema em questão. Nesta fase, é desejável a interação com outros especialistas que não participaram do desenvolvimento do sistema (ROLSTON, 1988).

O protótipo do sistema foi construído no ambiente Expert SINTA/DISE, que é “um conjunto de ferramentas computacionais fundamentadas em técnicas de Inteligência Artificial para geração automática de sistemas especialistas” (UFC). Seu modelo de representação do conhecimento é baseado em regras de produção e fatores de confiança. Este ambiente foi desenvolvido no Ceará pelo grupo SINTA (Sistemas INteligentes Aplicados), do Laboratório de Inteligência Artificial (LIA) da Universidade Federal do Ceará e está disponível on-line (UFC).

No protótipo implementado, informações a respeito do fenômeno são solicitadas ao usuário. A partir das respostas fornecidas, o sistema oferece uma solução para a linguagem cartográfica a ser utilizada no mapa. Alguns exemplos de regras utilizadas no sistema podem ser visualizados na Figura 5.

FIGURA 5 – EXEMPLOS DE REGRAS DE PRODUÇÃO UTILIZADAS NO PROTÓTIPO

```
Regra 2
SE primitiva grafica = ponto
  E nivel de medida = nominal
  E numero de classes = 1
ENTÃO variavel visual = tom de cor CNF 100%
  tom de cor = vermelho CNF 100%
  forma = circulo CNF 100%
  luminosidade = 0 CNF 100%
  tamanho = 1 CNF 100%

Regra 17
SE primitiva grafica = ponto
  E nivel de medida = ordinal
  E numero de classes = 2
ENTÃO variavel visual = tamanho CNF 100%
  tom de cor = vermelho CNF 100%
  forma = circulo CNF 100%
  luminosidade = 0 CNF 100%
  tamanho = 1 CNF 100%
  tamanho = 2 CNF 100%
```

Como o objetivo é validar as regras a serem utilizadas no sistema final, não há preocupação com interface, o sistema não acessa dados geográficos nem gera símbolos gráficos, mas apresenta a descrição completa da linguagem cartográfica através dos valores encontrados pelo sistema para variáveis como “forma”, “tamanho” e “tom de cor”.

Para fornecer o vocabulário adequado para a construção das regras da base de conhecimento, foi definida uma ontologia, que define e relaciona os conceitos de projeto cartográfico temático envolvidos na tomada de decisão. Esta ontologia foi construída com o auxílio do software Protégé-2000, desenvolvido na Universidade de Stanford (EUA).

A Figura 6 mostra uma tela deste software. À esquerda é visualizada a estrutura da ontologia, mas não é possível visualizar os tipos de relacionamentos entre os conceitos. Para cada conceito definido, pode ser inserida uma documentação, ou seja, uma definição do conceito, além de suas relações com os outros conceitos.

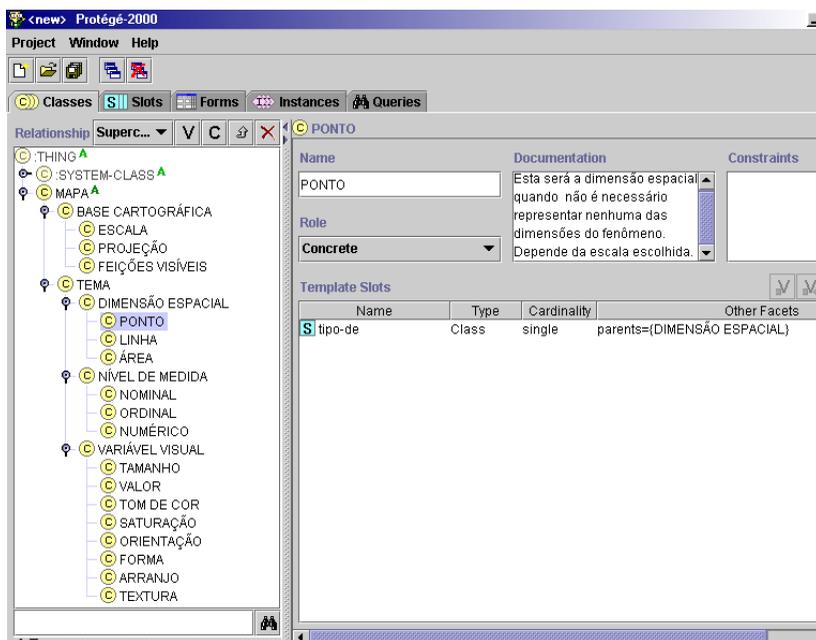


FIGURA 6 – TELA DO SOFTWARE PROTÉGÉ-2000 QUE MOSTRA A ONTOLOGIA DO SISTEMA

O sistema final está sendo implementado no ambiente Microsoft Visual C++, com a utilização da biblioteca MFC (Microsoft Foundation Classes) para a construção das interfaces.

4. CONCLUSÃO

Um sistema baseado em conhecimento pode aumentar a eficiência da visualização de mapas temáticos por usuários leigos em cartografia temática através da provisão de soluções “default” que seguem os princípios de projeto cartográfico temático. Um sistema alimentado com o conhecimento necessário sobre cartografia pode auxiliar o usuário na escolha da projeção cartográfica adequada para visualização, na identificação do nível de medida do fenômeno, na seleção da variável visual que melhor representa as características espaciais do fenômeno, e na escolha do método de classificação apropriado, no caso de dados numéricos.

A definição de uma ontologia para projeto cartográfico temático propicia a estrutura conceitual e o vocabulário necessários para a construção de uma base de conhecimentos que incorpore métodos para a construção de mapas temáticos, com base em estudos existentes sobre a percepção humana dos mapas, a teoria das cores, princípios estatísticos e de cartografia. Além disso, esta ontologia pode ser utilizada em outros sistemas para manipulação de informações geográficas e permitir a reutilização e o compartilhamento de bases de conhecimento entre diferentes sistemas.

O sistema proposto pode não apenas restringir as opções do usuário, mas também fornecer uma solução “default” satisfatória. A interatividade oferece ao sistema os dados necessários para a obtenção da melhor solução, de acordo com os dados disponíveis. O usuário possui liberdade para alterar qualquer etapa desta solução e pode solicitar ao sistema “explicações” sobre as decisões tomadas.

5. REFERÊNCIAS

- BERGMAN, Lawrence D.; ROGOWITZ, Berenice E.; TREINISH, Lloyd A.; A rule-based tool for assisting colormap selection. Proceedings IEEE Visualization '95, p118-125, Atlanta, Georgia, out. 1995. Research report IBM Thomas J. Watson Research Center. Yorktown Heights, NY. Disponível em: <<http://www.research.ibm.com/dx/proceedings/pravda/index.htm>> Acesso em 29 maio 2002.
- BOS, E. S. Cartographic symbol design. Enschede: ITC, 1984.
- BUTTENFIELD, Barbara P.; MARK, David M. Expert systems in cartographic design. In: TAYLOR, D. R. Fraser. Geographic information systems: the microcomputer and modern cartography. Ottawa: Pergamon, 1994, p.129-150.
- DENT, Borden D. Cartography: Thematic map design. WCB/McGraw-Hill, 1999.
- DORLING, Daniel; FAIRBAN, David. Mapping: ways of representing the world. London: Longman, 1997.
- HERING, E. Zur Lehre vom Lichtsinne. Viena: Gerold, 1878.

MACEACHREN, A. M. Some truth with maps: a primer on symbolization & design. Washington, D.C.: Association of American Geographers, 1994.

ROBBI, Claudia. Sistema para visualização de informações geográficas para planejamento urbano. São José dos Campos, 2000. Tese (Doutorado em Computação Aplicada) – INPE.

ROLSTON, David W. Principles of artificial intelligence and expert systems development. Singapore: McGraw-Hill, 1988.

RUSSELL, Stuart J.; NORVIG, Peter. Artificial intelligence: a modern approach. New Jersey: Prentice-Hall, 1995.

SCHWEIZERISCHE GESELLSCHAFT FÜR KARTOGRAPHIE (SGK). Cartographic generalization: topographic maps. Zurich, 1977.

SLOCUM, Terry A. Thematic Cartography and Visualization. New Jersey: Prentice-Hall, 1999.

STANFORD UNIVERSITY (SU). Protégé-2000. Disponível em: <<http://protégé.stanford.edu>> Acesso em: 23 maio 2002.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ (UFC). Laboratório de Inteligência Artificial. Disponível em <<http://www.lia.ufc.br/~bezerra/exsinta/exsintashell.htm>> Acesso em: 23 maio 2002.

ATUALIZAÇÃO DE BASE CADASTRAL E GERAÇÃO DE UM SIG PARA PEQUENOS MUNICÍPIOS

Paulo Batista de Oliveira Junior¹
Teotonio Marques da Silva Filho¹
Mácia Quintas²
Pedro Luis Faggion²

1 Universidade Federal do Paraná pb_junior@hotmail.com

2 Universidade Federal do Paraná teotoniom@hotmail.com

RESUMO

O presente trabalho pretende atingir a necessidade de pequenos municípios realizando a geração ou atualização de Bases Cartográficas a partir de técnicas de qualidade e comprometendo o menor custo possível durante todo o processo de atualização da base até a geração de um Sistema de Informações Geográficas que informará as condições, valores e situação de lotes edificações da região considerada, permitindo um bom gerenciamento urbano com um custo relativamente baixo.

Palavras-chave: Cadastro, Levantamentos Topográficos.

ABSTRACT

The present work intends to reach the need of small municipal districts accomplishing the generation or modernization of Cartographic Bases starting from quality techniques and committing the smallest possible cost during whole the process of modernization of the base to the generation of a System of Geographical Information that it will inform the conditions, values and situation of lots constructions of the considered area, allowing a good urban management relatively low with a cost.

Keywords : Register in Cadsatre, survey

1. INTRODUÇÃO

1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Com o crescimento sofrido pelos complexos urbanos nas últimas décadas e a difícil viabilização de verbas por parte dos governos federais e estaduais, a organização das prefeituras torna-se necessária para possibilitar a realização de obras imprescindíveis para o desenvolvimento municipal. Considerando dados do IBGE aproximadamente 70% dos municípios brasileiros possuem menos de 20.000 habitantes, e esta distribuição desequilibrada da população gera um orçamento que dificulta o desenvolvimento de pequenos municípios, fazendo com que importantes obras deixem de ser realizadas nos pequenos centros urbanos, comprometendo a qualidade de vida local.

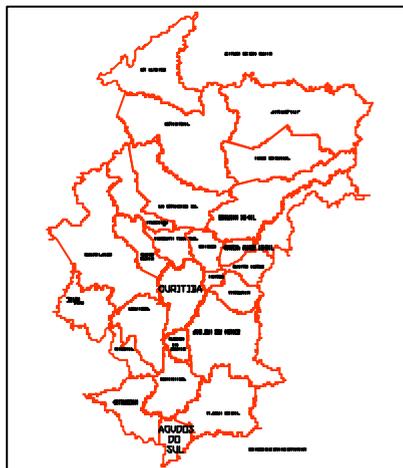
Uma destas importantes obras, mas de custo elevado, é a atualização da Base Cartográfica para fins cadastrais. Para prefeituras de grande porte a Aerofotogrametria idealiza a solução necessária para atualização, porém para prefeituras de pequenas cidades esta se torna uma solução inviável, devido ao alto custo do vôo fotogramétrico.

2. METODOLOGIA

2.1 ESCOLHA DA ÁREA DE ESTUDOS

O Município que compreendeu as características da maioria dos municípios Brasileiros foi o Município de Agudos do Sul, localizado no extremo sul da Região Metropolitana de Curitiba.

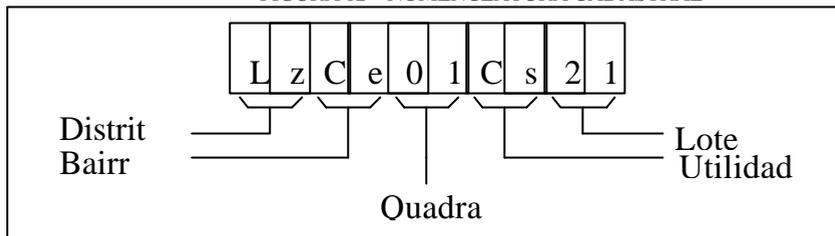
FIGURA 01 – REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA



2.2 CRIAÇÃO DA NOMENCLATURA GERAL

Notando a necessidade de atingir não apenas o Município de Agudos do Sul nas considerações deste trabalho, mas como também a situação de todos os pequenos municípios brasileiros. Deste modo foi desenvolvida a seguinte nomenclatura:

FIGURA 02 – NOMENCLATURA CADASTRAL



considerando um levantamento hipotético realizado no município de Joaçaba, Santa Catarina, distrito de Luzerna, bairro do Centro quadra 01 edificação de uso residencial (cs), localizada no lote 21 da quadra em questão. As edificações também podem ser associadas como industrias(in), comercio(co), públicos (pu) ou residenciais (cs).

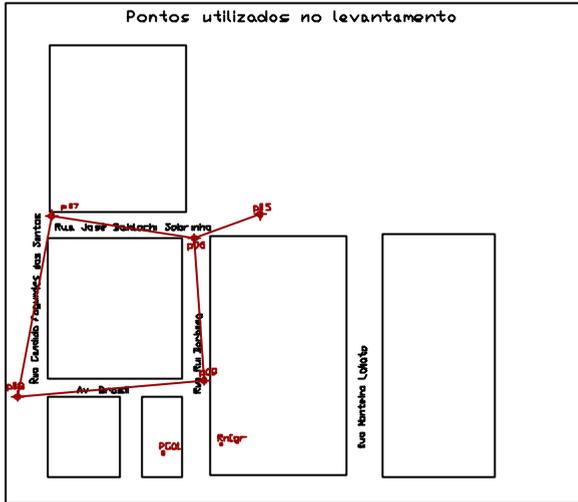
Utilizando a nomenclatura acima descrita pode-se adequa-la as diversas situações encontradas. Para o caso da área de estudos utilizada neste trabalho foram associados somente os seis últimos dígitos desta nomenclatura.

2.3 ETAPA DE LEVANTAMENTOS

A partir destes fatos neste trabalho se desenvolveu uma solução através de técnicas cadastrais e de topografia que podem ser utilizadas por pequenos municípios gerando um produto de qualidade que atenda as necessidades destas regiões menos desenvolvidas.

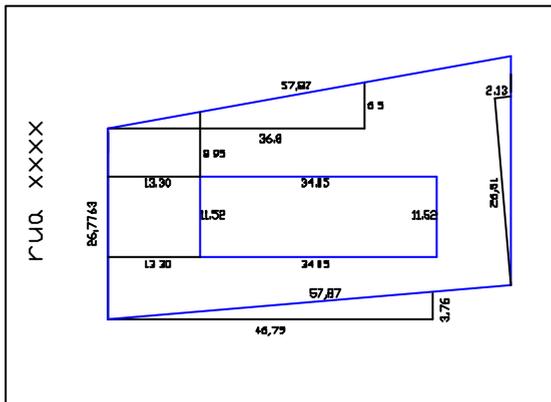
O trabalho se desenvolveu numa área piloto do município de Agudos do Sul, que compreendia várias etapas da evolução da ocupação urbana do município. O proximo passo foi realizar o levantamento topográfico, onde com a utilização de uma Estação Total TC403 e dois prismas foram materializadas duas poligonais envolvendo duas quadras, e a partir destas poligonais foi feito o levantamento das quadras, arruamentos calçadas e alinhamento frontal dos lotes de modo que atingissem os dois lados da via.

FIGURA 03 – POSICIONAMENTO DA ÁREA DE ESTUDOS E POLIGONAIS



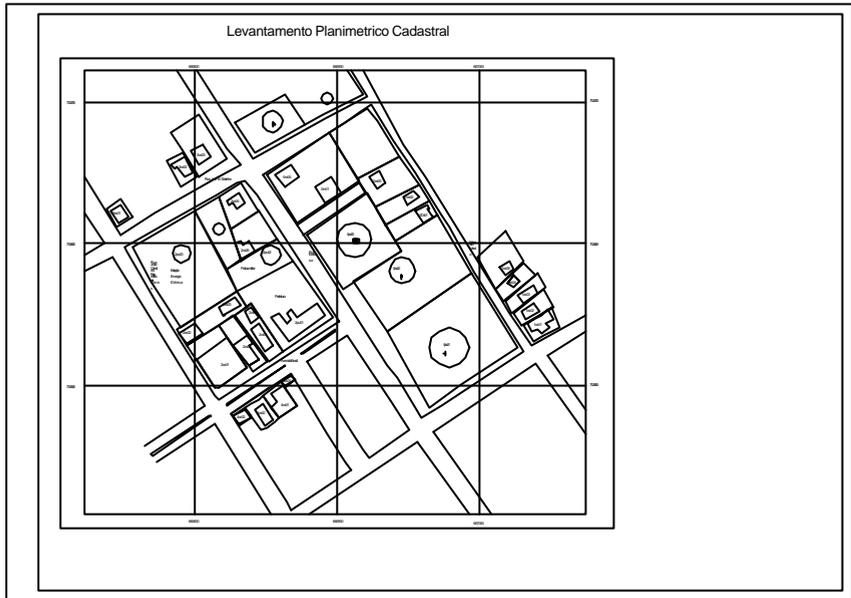
O levantamento cadastral,consistiu no preenchimento das fichas cadastrais e levantamento das dimensões de edificações e lotes.

FIGURA 04 – LEVANTAMENTO UTILIZANDO TRENA E PRISMA DE AGRIMENSOR.



O resultado final do levantamento pode ser visto na planta apresentada abaixo

FIGURA 05 – PLANTA CADASTAL GERADA

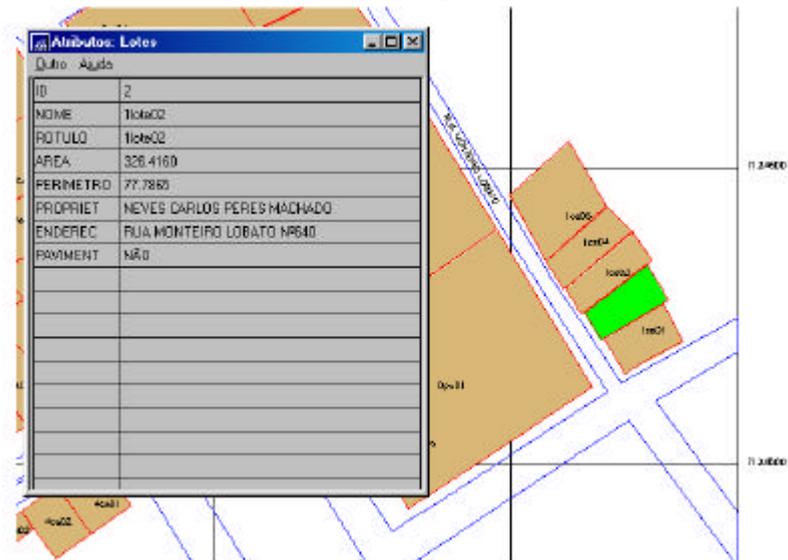


2.4 GERAÇÃO DO SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS

A geração do sistema de informações geográficas foi realizado utilizando o programa SPRING, produzido e disponibilizado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Este programa foi escolhido por apresentar as características técnicas necessárias para desenvolvimento de um sistema de pesquisas eficiente ao usuário (Prefeitura) e por não apresentar custos de aquisição.

Deste modo foram associados os dados recolhidos durante a etapa de levantamento cadastral com a base cartográfica, desenvolvendo um sistema que permite pesquisas relativas as condições de lotes e edificações.

FIGURA 06 – EXEMPLO DE PESQUISAS QUE PODEM SER REALIZADAS.



3. CONCLUSÃO

O contato direto com a realidade da profissão e a necessidade de se contornar problemas em situações difíceis fazem com que a teoria e técnicas aprendidas sejam aplicadas de modo eficaz. A clareza obtida na apresentação e a complexidade técnica durante o desenvolvimento de um projeto devem ser conciliadas de modo a não gerar dúvidas, erros ou escassez de informação. Deste modo o projeto final acelerou a integração entre as várias áreas do conhecimento universitário adquirido.

Outra grande importância dada a este trabalho caracterizou-se pela assistência gerada a uma necessidade urgente do país, a organização de pequenos municípios de modo que eles se tornem atrativos à população, provocando assim o fim uma distribuição demográfica que não comprometa a qualidade de vida nos centros urbanos.

4. RECOMENDAÇÕES

- A inserção de um ambiente no SIG que permitisse recuperar imagens digitais das edificações e lotes;
- A realização de cálculos de impostos e taxas no próprio ambiente SIG;

- c) Integração com outros serviços prestados no município (luz, água, esgoto, telefonia, segurança, saúde, educação);
- d) Utilização das técnicas de levantamentos desenvolvidas em outras regiões e análise da qualidade obtida.

5. REFERÊNCIAS

ABNT. NBR 14166. **Rede de Referência Cadastral Municipal – Procedimentos.** Agosto de 1998

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR13133:** Norma para Execução de Levantamento Topográfico da A.B.N.T. Rio de Janeiro, 1994

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Referências bibliográficas.** NBR 6023. Rio de Janeiro: 1989

BURROUGH, P.A. **Principles of Geographical Information System for land resources assessment.** Clarendon Press, Oxford, England, 1986.

FIG. **Statement on the Cadastre.** International Federation of Surveyors. FIG Bureau, Canberra, Austrália. 1995.

FUMEPAR **Plano de uso e ocupação do solo urbano.** Agudos do Sul: Prefeitura Municipal de Agudos do Sul, 1994. 1 mapa P&B, 21 X 29 cm. Sem Escala.

GARCIA, L. da R. Neto. **Projeto de Diagnostico do Ambiente Urbano do Norte da Ilha de Santa Catarina.** Disponível na Internet via WWW. URL: www.ecv.Ufsc.br/secpos/d1996.html. Arquivo consultado em 06 de fevereiro de 2003.

GRIPP, J. Jr **Cadastro Técnico Municipal de Cidades de Pequeno Porte.** Disponível na Internet via WWW. URL: <http://www.Ufv.br/nugeo/ufvgeo2002/resumos/jgripp.pdf>. Arquivo consultado em 06 de fevereiro de 2003.

GUIMARRÃES, J. R.S. **Perfis Administrativos dos Municípios Baianos.** Disponível na Internet via WWW. URL: http://www.sei.ba.gov.br/conjplan/C&P90/artigo2_90.pdf. Arquivo consultado em 06 de fevereiro de 2003.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATISTICA (IBGE). Dados demográficos. Disponíveis na internet via WWW. URL: <http://www.ibge.com.br>. Consultado em março de 2003.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. DEPARTAMENTO DE PROCESSAMENTO DE IMAGENS. (INPE/DPI). **Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas (SPRING)**. Disponível na Internet via WWW. URL: <http://www.inpe.br/spring>. Arquivo consultado em 06 de fevereiro de 2003.

MENDONÇA, M. L. **Cadastro Técnico como instrumento de apoio às decisões municipais**. Brasília: Ministério do Interior / Serviço Federal de Habitação e Urbanismo (SERPHAU), 1973.

NASCIMENTO M. V. **Os Cadastros Imobiliário e Fiscal do Município de Florianópolis e o cálculo dos tributos municipais - uma análise crítica**. Disponível na Internet via WWW. URL: www.ecv.Ufsc.br/secpos/d1996.html. Arquivo consultado em 06 de fevereiro de 2003.

SANTOS, A. M. S. P. Perfil dos Municípios Brasileiros. **A palavra Terra**, Alegre, n. 46, 15 mai. 2001. Disponível na Internet via WWW. URL: <http://www.planeta.terra.com.br/noticias/apala/2146.htm> - 10k. Arquivo consultado em 06 de fevereiro de 2003.

6. AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de agradecer primeiramente aos colegas, Kauem Simões e Rogério (mestrado) pelos sábados em campo em Agudos do Sul, a Wilson A. Holler pelo processamento dos dados de GPS.

Também gostaríamos de agradecer aos nossos orientadores Professora Dra. Marcia C. Quintas e Professor Dr. Pedro Luis Faggion pelo apoio e incentivo.

PLANEJAMENTO E ESTRUTURA URBANA EM SARANDI-PR

Gilda Maria Cabral Benaduce¹

Veridiana Lima da Silva²

Danilo Heitor Caires Tinoco Bisneto Melo³

1 Universidade Estadual de Maringá benaduce@wnet.com.br

2 Universidade Estadual de Maringá verigeo@yahoo.com.br

3 Prefeitura Municipal de Maringá dhmelo@bol.com.br

RESUMO

Trabalhar com questões como o planejamento e a forma de ocupação do espaço urbano de uma cidade são cada vez mais comuns na vida de geógrafos e de profissionais ligados à engenharia das cidades. Há alguns anos com a explosão do chamado “fenômeno urbano” essas questões estão sendo muito mais requisitadas: o que eram detalhes hoje são enormes problemas de infra-estrutura, equipamentos e serviços os quais causam grandes desacertos e inúmeros transtornos para a vida urbana.

Deve se atentar também para o aperfeiçoamento tanto dos profissionais quanto dos órgãos que gerenciam políticas públicas assim como os instrumentos utilizados para diagnosticar os problemas oriundos da gestão territorial.

A análise da morfologia urbana, importante para o planejamento, recebe apoio das técnicas e sistemas de informações geográficas, os quais podem mostrar a disposição do tecido urbano e permitir várias análises entre elas as tendências de expansão territorial. No caso de Sarandi, cidade paranaense localizada entre as cidades de Maringá e de Marialva, ela é produto do processo de colonização planejado, empreitado e executado pela Companhia Melhoramentos do Norte do Paraná.

Com o rápido crescimento, daquele núcleo urbano planejado, origina-se uma cidade desorganizada, uma cidade que cresce a esmo, cuja expansão se dá em direção de Maringá. A expansão de Sarandi ocorreu às margens da rodovia BR 376. O que se tem hoje é o núcleo urbano planejado circundado por ruas desordena-

das; é um tecido urbano desconectado do suporte físico sobre o qual a cidade se desenvolve. Acoplado a estas questões encontram-se a total ausência de infra-estrutura, a nítida escassez de equipamentos nos bairros da cidade. Portanto, o presente trabalho traduz-se na análise da estruturação e da morfologia urbana a partir do geoprocessamento e de sistemas de informações geográficas. Tal análise resultará em um diagnóstico importante para a operacionalização do planejamento para aquela cidade.

Palavras-chave: Sarandi; Planejamento; Estrutura.

Abstract

Working with questions as planning and the way of occupation of the urban space of a city is getting commoner and commoner on geographers and professionals connected to city engineering' lives. Some years ago, with the explosion of the so-called "urban phenomenon", these questions have been much more asked: what were details, today are huge infrastructure, equipments and service problems, which cause great mistakes and several perturbations to the urban life.

It's also necessary to pay attention to the improvement of both professionals and institutions that control public policies as well as the used instruments, in order to diagnose the problems derived from the territorial management.

The analysis of the urban morphology, important to the planning, gets support from the geographic techniques and information systems, which can show the arrangement of the urban texture and allow several analysis between them to the tendency of territorial expansion. In the event of Sarandi, a city from Parana, localized between the cities of Maringa and Marialva, it's a product of the colonization process planned, undertook e performed by the Improving Company of the North of Parana.

With the fast development of that planned urban nucleus, a disorganized city emerges, a city that develops without definite direction, whose expansion now is going to Maringa direction. Sarandi expansion occurred alongside BR 376 highway. What we have nowadays is the planned urban nucleus surrounded by

disorganized streets; it's an urban texture disconnected to the physical support where the city develops.

Together with these questions are the total deficiency of infrastructure and the clear lack of equipments in the city neighborhoods. Therefore, the present work consists of the analysis of the urban structure and morphology from the geoprocessing and geographic information system. Such analysis will result in an important diagnostic to the planning operation to that city.

Key words: Sarandi; Planning; Structure.

PLANEJAMENTO E ESTRUTURA URBANA EM SARANDI-PR

As dinâmicas presentes nas cidades fazem com que planejadores urbanos tracem inúmeras possibilidades para eventuais fenômenos delas decorrentes. Com a sofisticação dos instrumentos utilizados para analisar o território, têm-se obtido resultados mais precisos, melhor delineados e de melhor qualidade. (RANDOLPH, 1998) Dentre estes instrumentos mais utilizados para o planejamento está o Sistema de Informação Geográfica - SIG cuja contribuição tem sido precisa para os planejadores e pesquisadores. (TEIXEIRA *et al*, 1994)

Com a finalidade de delinear e conhecer as dinâmicas presentes na cidade de Sarandi utilizou-se meios digitais para o mapeamento de seu sítio urbano rastreando a direção do seu crescimento, bem como sua infra-estrutura e equipamentos.

Sarandi foi um povoado planejado pela Companhia Melhoramentos do Norte do Paraná (CMNP), que em algumas décadas eleva-se a categoria de cidade. Ela encontra-se localizada a 23°25'00" S, 52°53'00" W possui uma área total de 113,50Km², divididos em 84 bairros somando um total de 71 392 habitantes dos quais 1 924 habitantes moram na zona rural e o restante 69 468 na zona urbana, representando uma taxa de crescimento anual variando em torno de 4,35% (IBGE, 2000). (Tabela 1)

Tabela 01: POPULAÇÃO TOTAL, POPULAÇÃO URBANA E POPULAÇÃO RURAL na Microrregião de Maringá e respectivos municípios entre 1980 a 2000.

	1980			1991			2000		
	pop. total	pop. urb	pop. rural	pop. total	pop. urb	pop. rural	pop. total	pop. urb	pop. rural
Maringá									
Mandaguari	24 479	14 696	9 783	28 084	21 249	6 835	31 359	28 254	3 105
Marialva	42 354	31 246	11 108	22 619	16 174	6 445	28 728	22 095	6 633
Maringá	168 239	160 689	7 550	240 135	233 937	6 198	288 465	283 792	4 673
Paçandu	11 955	8 839	3 116	22 212	21 012	1 200	30 727	29 584	1 143
Sarandi	-	-	-	47 972	46 201	1 771	71 392	69 468	1 924
totais	247 027	215 470	31 557	361 022	338 573	22 449	450 671	70 081	17 478

FONTE: CENSO DEMOGRÁFICO DO IBGE-1980 A 2000.
ORG. GILDA BENADUCE

A referida cidade surge como cidade dormitório da vizinha cidade de Maringá, e nestas últimas décadas vem apresentando um crescimento significativo e superior em relação à maioria das cidades que compõem a região. Este crescimento é acompanhado de um desenvolvimento que tem resultado em uma expansão territorial dada pela ocupação populacional e pela diversificação de atividades econômicas. Embora a questão mereça maiores reflexões, vale lembrar que a intensidade do dinamismo destas atividades poderá contribuir para tirá-la da condição de cidade dormitório.

Certamente, estes fenômenos também trouxeram um rearranjo ao uso do solo urbano, uma reestruturação urbana. Ao crescimento desordenado, ao uso irregular do solo urbano deveria dar lugar a um plano para a cidade. Um planejamento que pudesse nortear melhor as práticas e as dinâmicas da cidade, cercando melhor os problemas decorrentes do rápido crescimento demográfico.

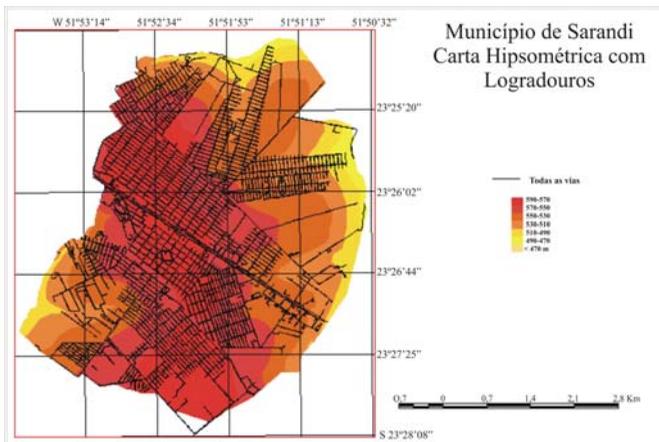
Problemas estes que são de várias ordens e intensidades uns estão relacionados à falta de infra-estrutura e de equipamento; outros estão relacionados aos problemas ambientais mostrando um acelerado processo erosivo percebido pelas ravinas e voçorocas existentes no tecido urbano; outros estão relacionados pelas inúmeras doenças seja pela água parada seja pelo acúmulo de lixo e/ou entulho, alterando a forma de viver em muitos dos bairros da cidade.

A cidade desenvolveu-se nos topos planos, com longas vertentes e de baixa declividade predominando solos espessos e

argilosos, como o Latossolo Vermelho Distroférrico de textura argilosa, que se caracterizam por serem pouco susceptíveis aos processos erosivos desde que utilizados de forma adequada. (Figura 1).

Considera-se relevante um estudo pormenorizado do sítio urbano para o planejamento da expansão territorial urbana, da melhor adequação da infra-estrutura, dos equipamentos e, que venha ser efetivado a partir do suporte físico, no qual se desenvolve a cidade e no qual se estrutura a cidade. Visando também estabelecer parâmetros para elencar as potencialidades e limitação ao uso do território.

Figura 1: Pr- Sarandi: Carta Hipsométrica com Logradouros



Fonte: P.M.S, 2002.

Org. Silva, VLS e Melo, DHCTB, 2003.

A Figura 1 mostra o traçado das ruas e a declividade podendo compará-los com a disposição dos loteamentos e tecer inúmeras possibilidades para o rearranjo de alguns setores da cidade.

A ausência de planejamento no traçado das ruas, na disposição dos lotes é comum em centros urbanos com um rápido crescimento como foi o caso de Sarandi, salvo em seu núcleo central, cuja área foi planejada pela CMNP.

Nos demais setores da cidade o traçado acabou sendo determinado pelos interesses das incorporadoras imobiliárias, de forma a adensar e assim aproveitar ao máximo o território existente, sob o pretexto de estar criando opções de moradia a baixos custos para a população carente.

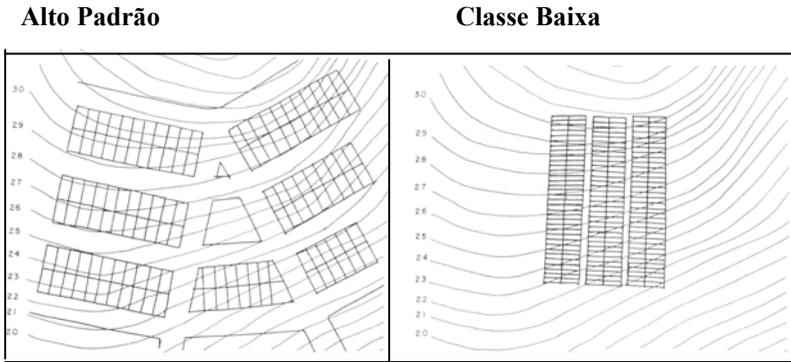
Uma das maneiras de atender a esta lógica é dispor as ruas de tal forma que elas cortem as curvas de nível, ficando os lotes perpendiculares a elas. Este traçado permite um maior parcelamento do terreno, mas por outro lado coloca a rua a favor da vertente, que pela declividade há um melhor escoamento das águas, mas certamente não será a melhor opção se pensar nos períodos de chuvas intensas que é comum em um clima tropical, como aquele da cidade de Sarandi.

As ruas com declividade funcionam como verdadeiros canais condutores do fluxo d'água, cujo poder de arraste cresce, a medida em que se dirige para o talude.

Isso posto, uma cidade é produto ou se traduz nos anseios e nas aspirações da sociedade que a forma, ou seja, reflete os interesses das diferentes classes sociais que compõe a cidade.

Reveste-se de interesse para a temática ora discutida as colocações feitas por MASCARÓ (1994) *“Na realidade, cada nível sócio-econômico tem suas necessidades, gostos e disponibilidades que devem se refletir na implantação de ruas e lotes (...)”*. Para ilustrar esta afirmação destaca-se na Figura 2, como o parcelamento do solo pode ser feito dependendo da classe social que se quer atender.

Figura 2—Implantação das ruas, em loteamentos de alto padrão e em loteamentos de classe baixa.



Fonte: MASCARÓ, 1994.

Salienta-se, portanto, os diferentes interesses dos proprietários fundiários existentes quando se planeja a cidade cujas concepções de urbanização nem sempre estão ligadas aos interesses da comunidade.

No caso da cidade de Sarandi, o desenvolvimento daquela cidade gerou um amplo cenário de possibilidades, cujo desenvolvimento vem merecendo atenção do poder público e comunidade para torná-la uma cidade de todos, uma cidade para os seus cidadãos.

Referências

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA.(IBGE). **Censos Demográficos 1980, 1991, 2000**. Rio de Janeiro.

MASCARO, Juan L. **Manual de loteamentos e urbanização**. Porto Alegre: Sagra. 1994.

RANDOLPH, Rainer. Planejamento urbano e regional, análise territorial e sistemas de informações geográficas *in* NAJAR,Albert e MARQUES, Eduardo César (org.) **Espaço e Saúde: estudos metodológicos e técnicas de análise**. Rio de Janeiro:Fiocruz, 1998.

TEIXEIRA, A . MORETTI, E.; CHRISTOFOLETTI, A. **Introdução aos Sistemas de Informação Geográfica**. Rio Claro. 1992.

ANÁLISE DA COMPATIBILIDADE DO USO E APTIDÃO DO SOLO DO MUNICÍPIO DE COLOMBO (PR) COM APOIO DE FERRAMENTAS DE SIG

Raquel Stadler Barnes¹
Jocelyn Lopes de Souza²

1 Universidade Tuiuti do Paraná

2 Universidade Tuiuti do Paraná – jocelyn.souza@utp.br

RESUMO

O presente trabalho consiste em relacionar com apoio de ferramentas de SIG, os dados de uso, cobertura e ocupação provenientes da interpretação da Imagem do satélite Landsat e levantamentos pré-existentes com dados da aptidão agrícola propostos pela EMBRAPA (1980). A análise consistiu em averiguar se as classes de aptidão agrícola estavam sendo usadas de formas adequada, inadequada e aceitável, gerando-se assim mapas integrados obtidos através de modelos lógicos oriundos da simultaneidade booleana. Para tal fez-se necessário a utilização do Sistema de Informações Geográficas SPRING versão 3.6 do INPE, que pela programação LEGAL permitiu a elaboração de dois mapas que relacionavam a habilidade do solo com o uso e ocupação e com o uso e cobertura pela escolha do operador <AND>. A área de estudo localiza-se no primeiro planalto paranaense, região metropolitana de Curitiba. Do produto integrado, a classe adequada referiu-se às áreas cujo uso e cobertura e ocupação estavam de acordo com a habilidade exposta no mapa de aptidão agrícola, com relação aos níveis de manejo, às informações adicionais e aos impactos ambientais. A classe inadequada referiu-se àquelas áreas que apresentavam incompatibilidade ao uso e que poderiam levar a algum processo de degradação do meio. A classe aceitável reservou-se àquela cujo uso não estaria totalmente excluído desde que cuidados com a preservação do meio fossem mantidas. Constatou-se que apesar da área urbana e/ou o crescimento urbano ocorrer em áreas propícias à lavoura, o município manteve-se em uma boa porcentagem de áreas adequadas ou aceitáveis. Entretanto, com respeito ao planejamento municipal, deve ser considerada a temporalidade destes resultados já que foram baseados em dados referentes aos anos de 1997 a 2001, onde faz-se necessária medidas preventivas para que se evite num curto intervalo de tempo, que o percentual de classes adequadas e aceitáveis sejam substituídas pela classe inadequada.

Palavras-chave: SIG; Planejamento; Atlas Municipal; Lógica Booleana; Geografia Ambiental

ABSTRACT

This work relates data use map and ability soil map by Geographyc Information System. The analysis consisted in invetigate that class ability are suitable with use soils picking adequate, inadequate and admissible areas. The GIS Spring version 3.6 (INPE) was used to introduced function algebra analysis (boolean algebra) by LEGAL program using <AND> operator. The study area is Colombo city, in Curitiba region, Paraná state. The method evidenced that a lot of adequate and admissible areas. On the other hands, precautions with soil preservation to need apply.

Keywords: GIS; Environmental Geography; Soil, Ability

1. INTRODUÇÃO

O Estado do Paraná é contemplado com levantamentos efetuados pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária que demonstram a habilidade do solo, orientando sua utilização. Tais levantamentos, como o de Aptidão Agrícola (EMBRAPA, 1980) podem servir de guia para projetos que tratem de questões ambientais e de planejamento municipal.

Uma forma de averiguar e analisar se determinadas áreas de um município estão sendo utilizadas de forma adequada de acordo com a habilidade do solo pode ser realizada através do confronto das informações de uso e cobertura e/ou uso e ocupação com os dados de aptidão agrícola. Esta averiguação e análise, é a que se propõe a presente pesquisa, cujo método chamou de Análise de Compatibilidade de Uso e Aptidão com auxílio de SIG. A utilização do SIG deveu-se a sua capacidade do mesmo em sobrepor os dados de diferente naturezas de forma rápida e precisa.

Escolheu-se como área de estudo o município de Colombo (PR), uma vez que dados de uso e ocupação já estavam à disposição das autoras, integrantes do Projeto Paraná em Municípios: Atlas Municipais do Curso de Geografia da UTP, o qual forneceu a imagem de satélite classificada por RODRIGUES (2002) bem como dados de hidrografia, vias de acesso, relevo, entre outros.

A área de estudo localiza-se no primeiro planalto paranaense, região metropolitana de Curitiba, entre as seguintes coordenadas geográficas, *datum* SAD 69: 25°26'31'' de latitude sul/49°18'47'' de longitude oeste e 25°10'03'' de latitude sul/49°00'41'' de longitude oeste. A cobertura vegetal original do município,

representada pela Floresta Ombrófila Mista – Floresta de Araucária, vem sendo substituída por espécies destinadas a atividades agrícolas como milho, feijão, hortaliças, uva, bracinga e plantação de grama. Pelo fato de limitar-se a sudoeste com a capital do Estado (município de Curitiba) e a sudeste com o município de Pinhais, a área de estudo vem sendo intensamente ocupada na sua porção sul, mesmo tendo sua sede situada a oeste e a dezenove quilômetros da Capital, despertando o interesse das autoras em investigar se o crescimento urbano nesta região poderia estar ocorrendo em áreas aptas ou não para lavoura ou ainda estarem ocorrendo em áreas indicadas à preservação.

2. MATERIAIS E MÉTODO

2.1 MATERIAIS

Os materiais envolvidos foram:

- Mapa de Aptidão Agrícola do Estado do Paraná, escala 1 : 600000 (EMBRAPA, 1980);
- Mapa de Uso e Ocupação do Solo da Região Metropolitana de Curitiba, escala 1 : 150000 (CPRM, 1997);
- Imagem do satélite Landsat 5, sensor TM, bandas 1 a 7, órbita/ponto 220/78 (INPE, 1997);
- Imagem do satélite Landsat 7, sensor ETM+, bandas 1, 2 e 3, órbita/ponto 220/78 (INPE, 2000);
- Projeto Colombo de RODRIGUES (2002), em ambiente SIG, do Projeto Paraná em Municípios: Atlas de Colombo.

2.2 MÉTODO

Uma vez que se apoiou à ferramentas de SIG, fez-se necessária fases de planejamento de etapas, de acordo com SILVA (1999). Iniciou pela idéia, onde procurou áreas de uso e cobertura/uso e ocupação do município de Colombo (PR) que se mostrassem em desacordo a aptidão agrícola, inclusive citada como hipótese no item 1 deste trabalho. Preliminarmente, através da sobreposição convencional em meio analógico, procurou-se definir e averiguar a existência das classes de adequação, conforme tabulação cruzada das diferentes classes. Um organograma foi criado, visando estabelecer qual *software*, equipamentos necessários, tipo de linguagem de programação e bibliografias de apoio a análise dos produtos a serem obtidos (mapas integrados). Finalmente implementou-se a função do SIG (análise algébrica não cumulativa), cujos resultados espaciais foram analisados.

As etapas do geoprocessamento, portanto, resumiram-se a: criação de um projeto no SIG Spring, fornecendo as informações cartográficas do recorte espacial,

criação de planos de informação de categoria temática para os dados de Uso e Ocupação e Aptidão Agrícola, os quais foram digitalizados e passaram por edição topológica e por fim efetuados cálculo de áreas (km²) para os dados vetoriais digitalizados e para os dados oriundos de conversão vetor-matriz. Estes resultados foram compostos em *software* de planilha eletrônica Excel onde gráficos de Pizza foram processados. Importou-se para o projeto os dados da classificação da imagem de satélite efetuados por RODRIGUES (2002), que usou o classificador Máxima Verossimilhança. Apoiada aos resultados do quadro de compatibilidade montado para a definição das classes de adequação (classes adequada, inadequada, aceitável), que mostravam todas as eventuais possibilidades de ocorrência das classes envolvidas (Uso *versus* Aptidão), através da linguagem de programação LEGAL do Spring, superpôs os dois mapas (Uso e Aptidão), utilizando o operador <AND>, de forma que a classe de um mapa (ex. Classe de Uso e Cobertura Floresta de Araucária) que ocupasse a mesma posição georeferenciada que outra classe do outro mapa (Classe Inapta do Mapa de Aptidão), receberia uma novo atributo, verdadeiro e pertencente a uma das classes de adequação impostas pelas autoras.

3. APTIDÃO AGRÍCOLA

Numa linguagem simplificada, o termo aptidão refere-se a habilidade. Aptidão agrícola refere-se a habilidade do solo para determinadas atividades agrícolas, o que se pode cultivar, proteger, etc.

Para Ramalho Filho & Beek (1994), uma mapa de aptidão agrícola revela interpretações realizadas no solo, classificando áreas para diversas culturas, sob diferentes condições de manejo e viabilidade de melhoramento, através de tecnologias. A classificação é um processo interpretativo e seu caráter é efêmero. É um guia para a obtenção do máximo de benefícios das terras e é como uma orientação de como devem ser utilizados seus recursos.

Considera três níveis de manejo: A, B e C. O nível de manejo A representa uma atividade primitiva de utilização, onde envolve trabalhos braçais e baixo nível técnico cultural. O nível de manejo B, é pouco desenvolvido, podendo ser braçal com envolvimento de tração animal. Pode ser utilizada tração motorizada quando almeja-se desbravar e preparar o solo. O nível C, é o que representa o elevado nível tecnológico e qualificado.

Possui grupos de 1 a 6, cada um com indicação de utilização. Assim, os grupos 1, 2 e 3 têm indicação de utilização para lavoura. O grupo 4, aptos para pastagem plantada. O grupo 5, refere-se àquelas terras que possuem indicação de utilização aptas para silvicultura e pastagem natural. O grupo 6, terras sem aptidão.

São consideradas quatro classes: BOA, REGULAR, RESTRITA e INAPTA. A classe boa refere-se às terras sem limitações significativas. Há um mínimo de restrições que não comprometem a produtividade. O seu símbolo gráfico é em

maiusculo. A classe regular, refere-se às terras que apresentam limitações moderadas. As limitações reduzem a produtividade ou os benefícios. A simbologia é em minúsculo. A Classe Restrita caracteriza as terras com fortes limitações à produção. Seu símbolo gráfico é em minúsculo entre parênteses. As terras exclusas à produção são pertencentes a classe inapta. Não é representada por símbolo. A Tabela 1 mostra a simbologia das classes de aptidão.

TABELA 01 – SIMBOLOGIA CORRESPONDENTE ÀS CLASSES DE APTIDÃO AGRÍCOLA DAS TERRAS SEGUNDO RAMALHO FILHO & BEEK (1994)

TIPO DE UTILIZAÇÃO						
Classe de Aptidão Agrícola	Lavoura			Pastagem Plantada	Silvicultura	Pastagem Natural
	Níveis de Manejo			Nível de manejo B	Nível de manejo B	Nível de Manejo A
	A	B	C			
Boa	A	B	C	P	S	N
Regular	a	b	c	p	s	n
Restrita	(a)	(b)	(c)	(p)	(s)	(n)

Além da simbologia, um mapa de aptidão pode apresentar dados adicionais, representados por hachuras na vertical, hachuras na horizontal, pontilhados, traços diagonais, aspas, “v” minúsculo, traços contínuo e tracejado, entre outros. Assim, hachura vertical são as terras aptas para culturas de ciclo curto e inaptas para culturas de ciclo longo. Não indicadas para silvicultura. Hachura Vertical, são terras aptas para cultura de ciclo longo e inaptas par culturas de ciclo curto. Presença de pontilhados nos polígonos mapeados, são as terras com aptidão para culturas especiais de ciclo longo. O “v” minúsculo, são as terras com irrigação instalada ou prevista. Traços diagonais, são as terras não indicadas para silvicultura. Aspas no algarismo indicativo do grupo, representam terras com aptidão para dois cultivos por ano. O traço contínuo sob o símbolo, indica haver na associação de terras componentes, em menor proporção, com aptidão superior a representada no mapa. O traço interrompido sob o símbolo, indica haver na associação de terras componentes, em menor proporção, com aptidão inferior a representada no mapa. Traço contínuo sobre traço interrompido sob o símbolo, indica haver na associação de terras componentes, em menor proporção, com aptidão superior e inferior, respectivamente à mostrada no mapa. Traço interrompido sobre traço contínuo sob o símbolo, indica haver na associação de terras componentes, em menor proporção, com aptidão inferior e superior, respectivamente à mostrada no mapa.

Na área de estudo, foram digitalizadas as seis classes de aptidão agrícola presentes no recorte do município, descritas a seguir.

Classe 1, de simbologia 3 (bc), são terras pertencentes a classe de aptidão restrita para lavoura no nível de manejo B e C, inapta no A, onde a convenção adicional indica que são aptas para culturas especiais de ciclo longo.

Classe 2, ou seja, 2''(b)c, são terras pertencentes à classe de aptidão restrita no nível de manejo B, regular no C e inapta no nível de manejo A, onde a convenção adicional indica que são adequadas para culturas especiais de ciclo longo e as aspas indicam que são aptas para dois cultivos por ano.

A classe 3, de simbologia 3(bc) com presença de hachuras na vertical, são as terras pertencentes à classe de aptidão restrita para lavoura no nível de manejo B e C e inapta no nível de manejo A. A hachura vertical, as diferencia da Classe 1 por serem terras aptas para cultura de ciclo curto, inapta para ciclo longo e não são indicadas para silvicultura.

A Classe 4, referente a 5s, são as terras pertencentes à classe de aptidão regular para silvicultura no nível de manejo B. Sem aptidão para pastagem natural.

A Classe 5, simbologia 2(b)c com hachura pontilhada, são as terras pertencentes à classe de aptidão restrita para silvicultura no nível de manejo B, regular no nível de manejo C e inapta no nível de manejo A e a convenção adicional indica que são adequadas para culturas especiais de ciclo longo.

4. FUNÇÕES DOS SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS

Segundo Silva (1999), os SIG's têm em comum a capacidade de desempenhar eficazmente operações de sobreposição, que praticamente regem a funcionalidade dos mesmos. As funções dos SIG's podem ser divididas, basicamente, em consulta, reclassificação, análises de proximidade e contiguidade, modelos digitais de elevação, operações algébricas cumulativas e operações algébricas não cumulativas. Esta última, a implementada na presente pesquisa.

Através de modelos lógicos, mapas observacionais (Mapa de Aptidão agrícola e Uso e Ocupação) e mapas analíticos (Mapa de Uso e Cobertura proveniente da classificação da imagem de satélite), foram cruzados, resultando num produto integrado, denominado de mapa de adequação.

Esta função, pertencente a chamada de análise algébrica não cumulativa ou análise lógica, compreendeu o uso da simultaneidade *booleana*. A lógica *booleana* baseia-se em estabelecer limites determinados a partir de informações consideradas falsas, atributo 0 (zero) e verdadeiras, atributo 1 (um). A análise utiliza os seguintes operadores: <NOT>, <AND>, <OR> e <XOR>, como pode ser visto na Figura 1, onde o preenchimento hachurado (sólido cinza escuro) refere-se ao atributo verdadeiro.

O operador <AND> é utilizado quando, ao sobrepor dois mapas (por exemplo, mapa A e mapa B), quer considerar verdadeira os atributos dos mapas que ocupem a mesma posição geo-referenciada, ou seja classes que ocupem o mesmo lugar no

espaço. Desta forma, pode-se decompor como verdadeiro novos atributos, que no caso da pesquisa, considerou-se as classes adequadas, inadequadas e aceitáveis de uso a partir da eleição de todas as possibilidades de cruzamento entre uso e aptidão.

A Figura 2 mostra o esquema de tabulação cruzada envolvida para obter o mapa de adequação 1 e a Tabela 2 mostra o esquema de eleição das classes apartir das possíveis combinações entre Uso e Ocupação com os dados de Aptidão Agrícola.

FIGURA 01 – DIAGRAMA DE VENN

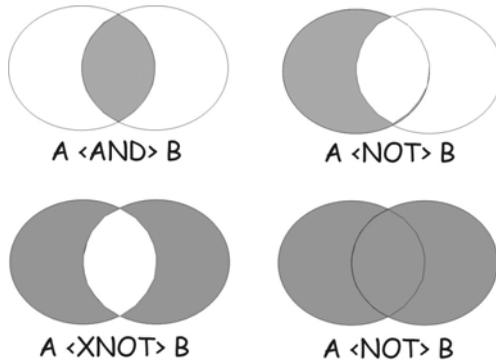


FIGURA 02 – CRUZAMENTO DAS CLASSES

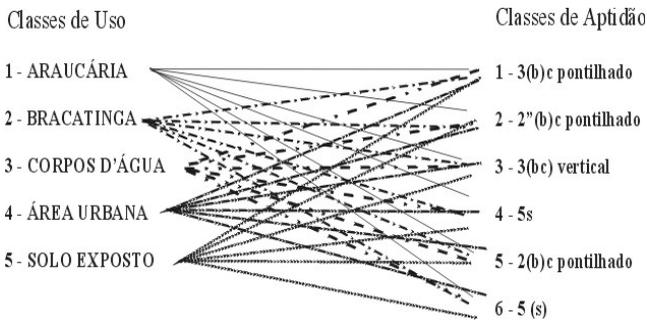


TABELA 02 – ELEIÇÃO DAS CLASSES DE ADEQUAÇÃO 1

ADEQUADA	INADEQUADA	ACEITÁVEL
1:1; 1:2;1:3; 1:4; 1:5; 1:6	2:1; 2:6	2:2; 2:4
2:3; 2:5;	4:1; 4:2; 4:3; 4:5	4:4; 4:6
3:1; 3:2; 3:3; 3:4; 3:5; 3:6		5:4; 5:6
5:1; 5:2; 5:3; 5:5		

5. RESULTADOS

O mapa da classificação supervisionada elaborado por Rodrigues (2002) mostrou generalização dos dados (imagens com resolução espacial de 30 x 30 metros), onde apenas cinco classes de uso e cobertura foram classificadas. O cálculo de áreas efetuado revelou que do total de classes, 198,89 km², a classe de maior área referiu-se à classe de bracatinga/milho/feijão/hortaliças, representando 41%, sendo seguida por 26% de área urbana.

Os dados mapa de uso e ocupação modificado da CPRM (1997) revelaram que no município de Colombo constam 15 classes: uva; bracatinga/milho/feijão; araucárias; mata incluindo araucárias; moagem e queima de cal; lavra em atividade; lavra paralisada; plantação de grama; cidade, distrito e vila; caqui; chácara de lazer; cemitério; erva mate; capoeira; hortaliças. Mesmo este mapa tendo discriminado a classe bracatinga/milho/feijão da classe hortaliça, constatou-se que aquela continuava ocupando extensas áreas (50%) da área total, seguida pela área urbana (22%).

Observou-se que no município prevalece as atividades agrícolas, representadas pelo cultivo de milho e feijão, presença de áreas com bracatinga oriundas de reflorestamento ou sucessão natural. Ressalta-se que dentro das atividades agrícolas, há expressão do cultivo de hortaliças, que apesar de não focalizarem em área tanto quanto as classes de bracatinga/milho e feijão, têm grande contribuição ao município na produção de olerícolas que são distribuídas para a região metropolitana de Curitiba.

As Figuras 3 e 4, mostram os mapas de Adequação 1 e 2, respectivamente, resultantes da álgebra booleana mediante análise e eleição das classes de compatibilidade. Considerou-se como classe adequada aquelas áreas cujo uso e cobertura e/ou uso e ocupação estavam de acordo com a habilidade mostrada no mapa de aptidão agrícola. A classe inadequada, referiu-se àquela cujas áreas apresentavam incompatibilidade ao uso e que poderiam, ao longo do tempo, levar a algum processo de degradação do meio ambiente. A classe aceitável referiu-se àquela em que o uso não seria totalmente excluído desde que precauções fossem tomadas com a preservação do meio e uso intensivo do solo.

Do mapa de Adequação 1, obteve-se as seguintes informações de área: classe adequada, com 48,64 km²; classe inadequada, 62,74 km²; classe Aceitável, com 86,46 km². Observa-se que em face dos pixels isolados do mapa de Uso e Cobertura provenientes da classificação, este produto não mostrou-se tão homogêneo quanto o da Figura 6. Assim, somada a necessidade de valorizar a importância das atividades olerícolas do município e utilizar um dado um pouco mais detalhado, utilizou-se do Mapa de Uso e Ocupação para sobrepor com o de Aptidão agrícola. O resultado é mostrado na Figura 6. Com auxílio do cálculo de área, constatou-se que 92,36 km²

reservaram-se a classe aceitável; 73,60 km², a classe inadequada; 31,94 km², a classe adequada.

FIGURA 03 – MAPA DE ADEQUAÇÃO 1

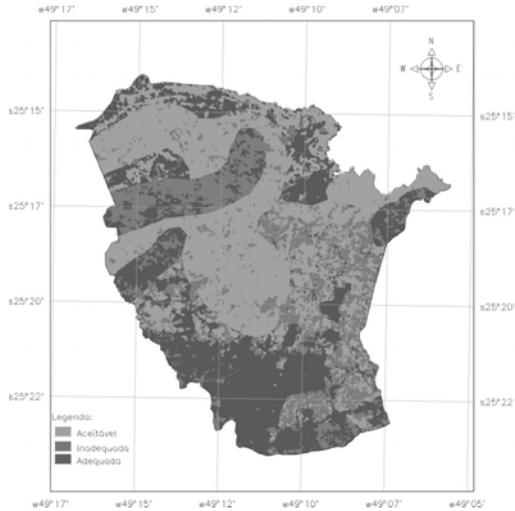
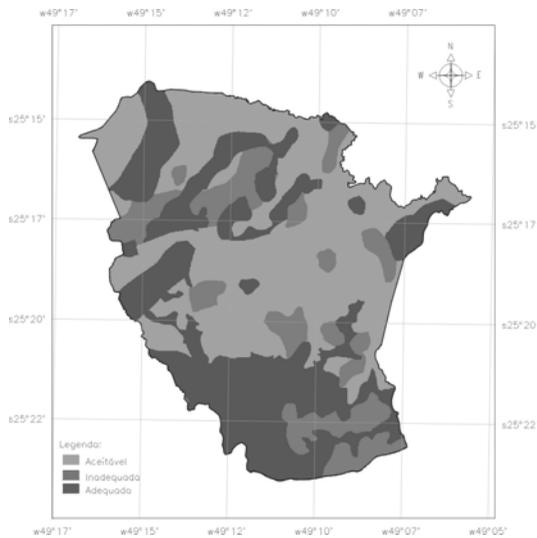


FIGURA 04 – MAPA DE ADEQUAÇÃO 2



6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Dentre os resultados dos mapas integrados, constatou-se que apesar da área urbana e/ou o crescimento urbano ocorrer em áreas propícias à lavoura, o município manteve-se em uma boa porcentagem de áreas adequadas ou aceitáveis. Entretanto, com respeito ao planejamento municipal, deve ser considerada a temporalidade destes resultados já que foram baseados em dados referentes aos anos de 1999 a 2001, onde faz-se necessária medidas preventivas para que se evite num curto intervalo de tempo, que o percentual de classes adequadas e aceitáveis não sejam substituídos pela classe inadequada.

Resultados desta natureza podem servir de auxílio no planejamento do município; projetos voltados à Geografia Ambiental na detecção de áreas críticas e projetos ambientais que tratem de assuntos de impacto do meio ambiente.

7. REFERÊNCIAS

CPRM. **Carta de Uso e Ocupação do Solo da região Metropolitana de Curitiba**. São Paulo : CPRM, 1997. 1 mapa : color. Escala 1 : 150000.

EMBRAPA. **Aptidão Agrícola das Terras**. Londrina : EMBRAPA, 1980. 1 mapa color; 100 x 115 cm. Escala 1 : 600000. Color.

RAMALHO FILHO, A.; BEEK, K. J. **Sistema de Avaliação da Aptidão Agrícola das Terras**. 3ª edição revisada, Rio de Janeiro : EMBRAPA – CNPS, 1994.

RODRIGUES, W. A. **Mapa de Uso e Cobertura do Solo do Município de Colombo (PR) para o Atlas Municipal**. Monografia de conclusão de Curso de Especialização em Geografia Ambiental, Universidade Tuiuti do Paraná. Curitiba, 2002.

SILVA, A.B. **Sistemas de Informações Geo-referenciadas: Conceitos e Fundamentos**. Campinas, SP : Editora Unicamp, 1999

THEODOROVICZ, A.M.G.; CANTARINO, S.C.; THEODOROVICZ, A. **Projeto Curitiba: Atlas de uso e ocupação do solo da região metropolitana de Curitiba e problemas ambientais relacionados**. São Paulo : CPRM, 1999.

MAPEAMENTO E ANÁLISE DA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DAS ESCOLAS DO MUNICÍPIO DE COLOMBO- PR PARA O ATLAS MUNICIPAL

Rosana de Souza¹
Alex Soria Medina¹

Universidade Tuiuti do Paraná – alex.medina@utp.br;

RESUMO

O objetivo específico deste trabalho foi o mapeamento das escolas municipais, estaduais e rurais do município de Colombo (Pr). A abordagem inicial foi feita através de levantamento do número de escolas na Secretaria Municipal do Planejamento do município; após foram feitas visitas a campo, com os respectivos equipamentos: GPS de navegação e máquina fotográfica, com a intenção de adquirir as coordenadas geográficas/planas para a obtenção da localização dos equipamentos de educação, bem como informações cadastrais sobre o número de alunos, professores, endereço e telefones das mesma. Para a geração de mapas pelos pontos adquiridos via GPS, com a distribuição espacial das escolas, realizados no Laboratório de Geoprocessamento da Universidade Tuiuti do Paraná, foram utilizados os *software* SPRING e importados no *software* Corel Draw; para que se concluísse a edição final elaborada dentro dos padrões do Projeto Paraná em Municípios do Núcleo de Pesquisa em Geografia Aplicada (NPGA), da Universidade Tuiuti do Paraná, mapas estes que farão parte do Atlas Municipal de Colombo.

Palavras-chave: Atlas; GPS; Geoprocessamento; Análises

SURVEYING AND ANALYSIS OF THE SPATIAL DISTRIBUTION OF THE SCHOOLS OF COLOMBO - PR FOR THE MUNICIPAL ATLAS

ABSTRACT

The specific objective of this work was the surveying of the rural, state, and municipal schools of Colombo - PR. Initial was, the hoist of the number of schools in the Municipal Office of the Secretary of the Planning of the town; after visits to

field, with the GPS receiver and camera, with the intention of acquire them geographical coordinate to obtaining the location the schools, as well as information about the number of students, professors, address. Was generated maps by the points acquired with GPS, the spatial distribution of the schools, carried out in the Laboratory of Geoprocessing from the University Tuiuti of the Paraná, were utilized the software SPRING and imported in the software Corel Draw; for that concluded the final edition elaborated inside the standards of the Project Paraná in Towns of the Nucleus of Research in Geography Applied (NPGA), of the Municipal Atlas of Colombo.

Keywords: Atlas, GPS, Geoprocessing; Analysis.

1. INTRODUÇÃO

O tema deste trabalho refere-se ao mapeamento e análise da distribuição espacial das escolas do município de Colombo - PR, com apoio de dados adquiridos nas próprias escolas, coordenadas via receptor GPS e registros fotográficos.

A intenção deste trabalho é mostrar que os mapas tem fundamental papel na construção do conhecimento e para tanto devem ser de fácil visualização e compreensão. Os resultados contribuirão para a rede de ensino do município, uma vez que permitirá a todos que o consultarem, acesso a dados analógicos (mapas) e a dados digitais representados pôr um banco de dados relacional contendo os dados espacializados e atributos descritivos de cada escola.

Assim, como o objetivo geral da pesquisa refere-se a elaboração dos mapas das escolas estaduais, municipais e rurais do município de Colombo - PR, contendo um banco de dados relacional, tem-se como objetivos específicos:

- A aquisição das coordenadas geográficas/planas das escolas através de GPS de navegação;
- O registro fotográfico de cada ponto adquirido;
- O resgate dos dados de números de alunos, número de professores, endereço, entre outros.
- Elaboração dos mapas das escolas dentro dos Padrões do projeto Paraná em Municípios do Núcleo de Pesquisa em Geografia Aplicada (NPGA), da Universidade Tuiuti do Paraná.

2. METODOLOGIA

2.1 Atividades de Campo

As atividades de campo resumiram-se a 11 campanhas, objetivando-se reconhecer a área de estudo, realizar registros fotográficos e adquirir coordenadas geográficas/planas de escolas situadas na sede do município.

Como também na aquisição de dados das escolas referente ao número de alunos, número de professores, endereços, telefone, entre outros, que comporam o banco de dados a ser gerados no software SPRING. Além de uma visita a Secretaria Municipal de Planejamento com o intuito de resgatar dados de localização de escolas.

Uma vez que os dados incluíam a busca de escolas estaduais, municipais e rurais, dificuldades foram encontradas na localização destas últimas. Isto se deveu ao fato de localizarem-se distantes da sede do município e pelo difícil acesso, sendo que a autora em algumas situações teve de fazer o trajeto a pé.

2.2 Atividades de Geoprocessamento

Mediante os setenta e oito pontos (coordenadas) adquiridos pelo receptor GPS foi elaborado um arquivo ASCII, que viria compor o banco de dados das escolas do município.

Esta etapa deveu-se à necessidade de importação destes dados dentro de um projeto da área de estudo no sistema SPRING, para que posteriormente fosse alimentado cada um destes pontos georeferenciados com os dados coletados (nome da escola, número de alunos matriculados, número de professores, endereço, bairro, telefone), em um plano de informação cadastral, usando o modelo relacional do SPRING.

Estes pontos exportados em formato DXF, foram importados para o *software* Corel Draw versão 8.0 para que se concluisse a edição final dentro dos padrões do projeto Paraná em Municípios.

2.3 Materiais

Os materiais utilizados para a realização deste trabalho foram os seguintes:

- Receptor GPS, modelo Garmin 48;
- Máquina Fotográfica, modelo F-50, marca Nikon;
- Cartas de Levantamento Aerofotogramétrico da COMEC do ano de 1979 em escala 1: 50.000 referentes as folhas SG 22XD I 1, SG 22X D I 2, SG 22X D I 3, SG D I 4;
- *Software* SPRING (versão 3.5 e 3.6) (INPE 2001 e 2002);
- *Software* Corel Draw (versão 8.0);

- PC Metron Celeron, 700 MHZ, 64 MB, 10GB;
- Scanner de mesa, marca Bright, 9600 DPI,
- Impressora Hewlett Packard Deskjet 640 C.

2.4 Descrição Geral da Área

O Município de Colombo - PR, está localizado no estado do Paraná, ao norte da capital do estado, Curitiba, aproximadamente 19 km de distância, região sul do Brasil e ocidental do planeta Terra.

De acordo com FERREIRA (p. 227-228), a sede do município (marco zero), está nas coordenadas geográficas 25°17'00" S sul e 49°15'00" W. Está a uma altitude média de 950 m do nível do mar, com uma extensão territorial de 198,7 km², e uma população de 197.124 habitantes, segundo o Diário Oficial da União de 30/08/2002, Resolução nº 4, de 21 de agosto de 2002.

Seus limites são: a Nordeste, Bocaiúva do Sul; Noroeste, Rio Branco do Sul; ao Sul, Pinhais; à Sudeste, Quatro Barras; à Sudoeste, Curitiba; à Leste, Campina Grande do Sul e à Oeste Almirante Tamaquaré.

Suas principais vias de acesso são representadas pela BR-116, BR-476 e PR 417, sendo de fácil acesso ao Rio Grande do Sul, Santa Catarina e São Paulo, como também ao Porto de Paranaguá e ao Aeroporto Afonso Pena, situado em São José dos Pinhais.

O município da pesquisa conforme WONS (1994, p.37), faz parte da zona norte do Primeiro Planalto Paranaense, possuindo um acidentado relevo, devido a ação erosiva do Rio Ribeira e seus afluentes.

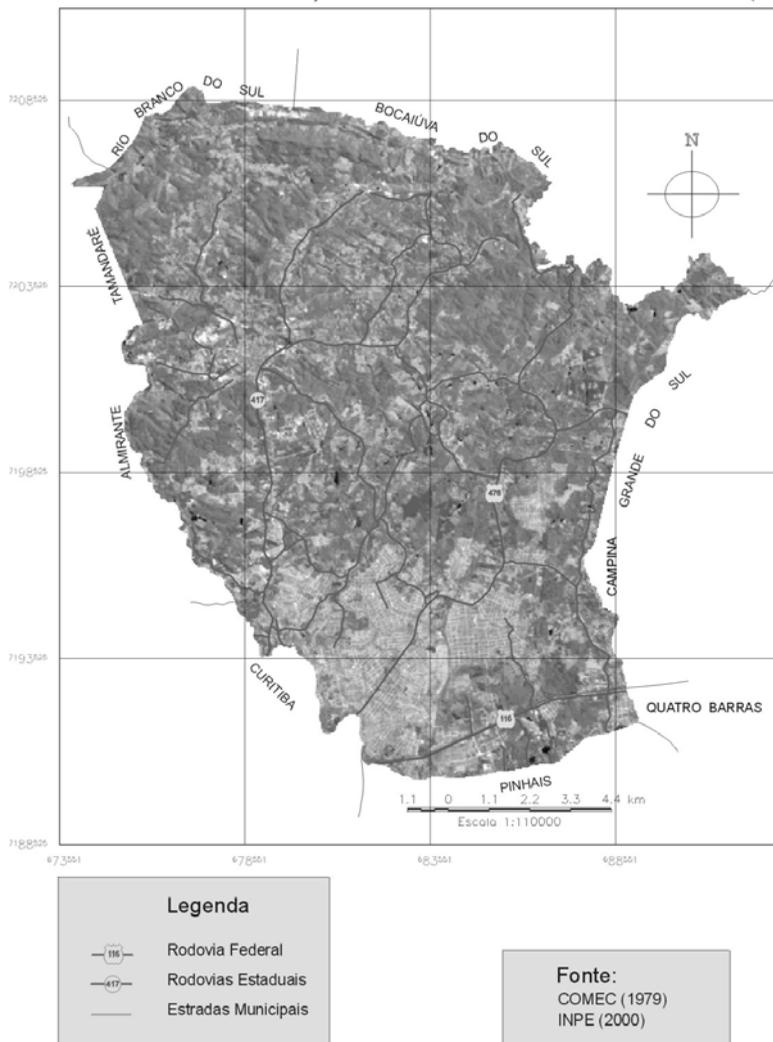
Conhecida pôr região serrana do Açungui, pôr sua face montanhosa, onde as rochas mais comuns são: filitos, calcários, dolomitos, mármores e quartzitos.

FERRARINI (1992, ps. 20-21), coloca que pelo motivo do relevo ser ondulado, bastante acidentado, há várias jazidas minerais na região, principalmente de calcário, como as de Boichininga, Capivari, Morro Grande e Butiatumirim.

De acordo com FABRI (2000 *apud* Rodrigues 2002, p.7), a vegetação primitiva é constituída pôr imensos pinheirais e florestas de erva-mate, que compõem a Floresta Ombrófila Mista, tendo como principal representante vegetal a *Araucária angustifolia* . Atualmente vem sendo substituída pelo reflorestamento como a bracatinga, o eucalipto e pôr espécies destinadas à olericultura e fruticultura, os quais compõem boa parte do município. A figura 01 mostra a localização do município e suas principais vias de acesso.

FIGURA 01 MAPA DE LOCALIZAÇÃO DO MUNICÍPIO

FIGURA 1 - MAPA DE LOCALIZAÇÃO E VIAS DE ACESSO DO MUNICÍPIO DE COLOMBO (PR)



3. RESULTADOS E DISCUSÕES

As figuras 02, 03 e 04 mostram a localização das escolas municipais, estaduais e rurais do município de Colombo – PR, adquirida através do receptor GPS das

Observa-se nas figuras 02 e 03 que a concentração das escolas estaduais e municipais ocorre em grande parte ao sul do município, próximo aos municípios de Curitiba e Pinhais, onde tem-se grande concentração de ocupação urbana, representada pelo Bairro Jardim Maracanã, bairro este distante da sede que contém uma escola estadual e duas municipais.

Esta configuração, geopoliticamente pode ser considerada aceitável, devido a grande quantidade de habitantes concentrados ao sul que estão sendo atendidos pelo município de Colombo, que tem sua sede centrada em posição não muito próxima ao grande pólo econômico como Curitiba.

Isto mostra uma situação típica de regiões metropolitanas, onde as pessoas procuram habitar perto da capital, resultando em um movimento de transumância, que dependendo da administração municipal, poderá ser benéfico ou não.

O meio rural, caracterizado por minifúndios de produção de olerícolas que ocupam grande extensão territorial do município, também é servido de uma boa quantidade de escolas, inclusive bem distribuídas.

A figura 04 mostra a distribuição espacial das escolas rurais. Observa-se que ao norte do município, ou seja, a partir da coordenada $Y = 7201200m$, há grande concentração e boa distribuição, perfazendo cerca de 13 escolas rurais de um total de 18 escolas desta natureza.

Situação esta que pode ser benéfica aos habitantes dos municípios limítrofes a Colombo como Rio Branco do Sul, Almirante Tamaquaré e Campina Grande do Sul.

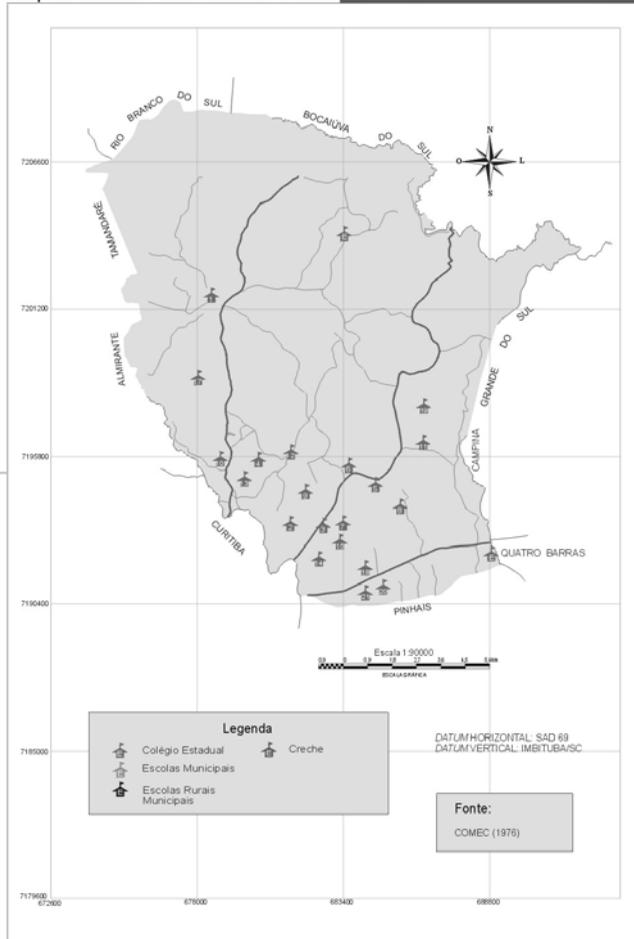
Observa-se que perfaz um total de 78 escolas, sejam elas estaduais, municipais ou rurais, contidas num município com área de $198,7 \text{ km}^2$, com 197.124 habitantes.

Detectou-se um maior zelo a estes estabelecimentos municipais quando comparados às escolas estaduais, isto pode refletir a eficiência da administração municipal quanto ao setor de ensino. Entretanto foi presenciado no campo uma abordagem policial próximo a um estabelecimento de ensino e também registrou-se algumas instalações marcadas pelo vandalismo mais propriamente pixações.

FIGURA 02 MAPA DE LOCALIZAÇÃO DAS ESCOLAS ESTADUIAS

FIGURA 03 MAPA DE LOCALIZAÇÃO DAS ESCOLAS MUNICIPAIS

Mapa Escolas Estaduais de Colombo - PR



Mapa Escolas Municipais de Colombo - PR

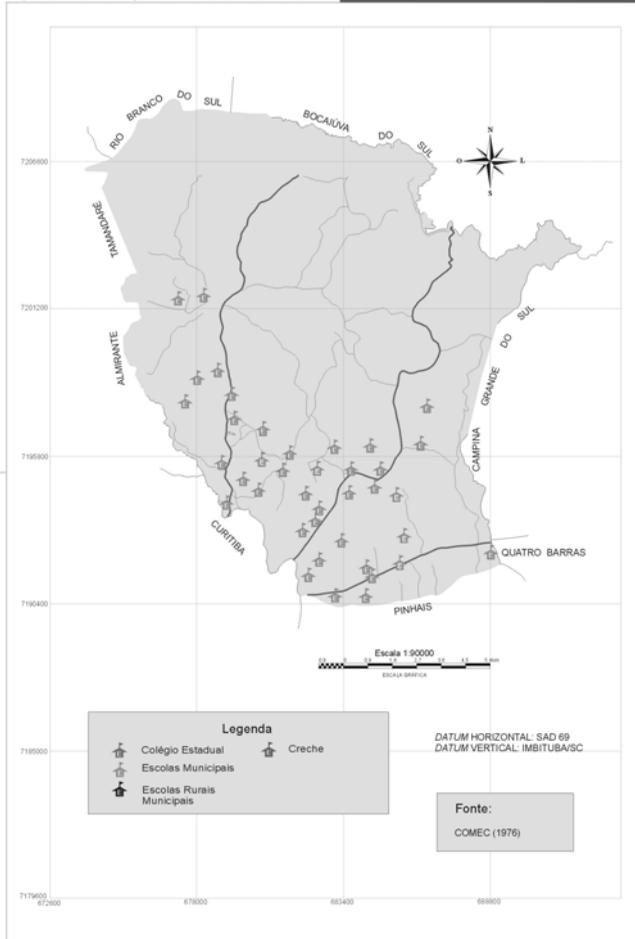
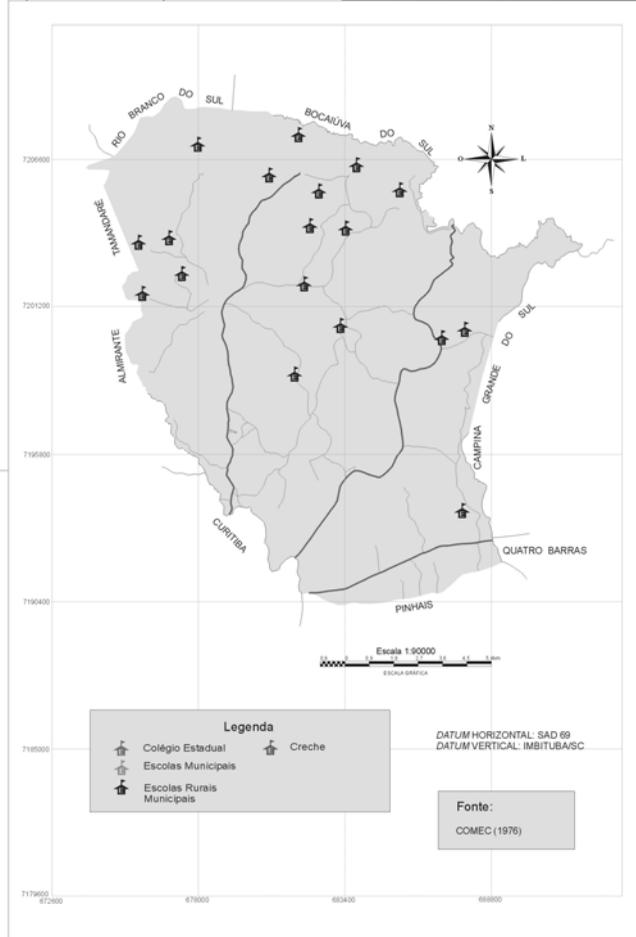


FIGURA 04 MAPA DE LOCALIZAÇÃO DAS ESCOLAS RURAIS

Mapa das Escolas Municipais Rurais de Colombo - PR



As tabelas 01, 02 e 03 mostram a relação dos alunos / professores nas escola estaduais, municipais e rurais do município de Colombo.

TABELA 01 – RELAÇÃO ALUNOS MATRICULADOS/PROFESSORES DAS ESCOLAS ESTADUAIS (ANO 2002)

Escola	Alunos	Professores	Alunos/Professores
Abraham Lincoln	2200	52	42,31
Alfredo Chaves	1250	32	39,06
Antonio Lacerda B.	2700	62	43,55
Bento Munhoz R. N.	1016	27	37,63
Genésio Moreschi	1970	61	32,29
Guaraituba	820	23	35,65
Heráclito	740	27	27,41
Jardim Cristina III	874	36	24,28
Jardim Monza	1850	55	33,64
Dom João Bosco	485	14	34,64
João Gueno	734	32	22,94
João R. de Camargo	900	37	24,32
Júlia Cavassin	946	26	36,38
Plínio A. M. Tourinho	1828	52	35,15
Vereador Raulino	798	28	28,50
Rui Barbosa	431	16	26,98
Tancredo neves	997	31	32,16
Vila Liberdade	460	18	25,56
Vinícius de Moraes	835	32	26,09
Zumbi dos Palmares	782	35	22,34

FONTE: Pesquisa de Campo (2002)

TABELA 02 - RELAÇÃO ALUNOS MATRICULADOS/PROFESSORES DAS ESCOLAS MUNICIPAIS (ANO 2002)

Escola	Alunos	Professores	Alunos/Professores
Ângelo Alegriani	233	12	19,42
Arlindo Andreatta	780	33	23,64
Jardim Ana Maria	624	22	28,36
Antonio Costa	260	10	26,00
Cristóvão Colombo	530	31	17,09
Monteiro Lobato	611	22	27,77
Dr. Manoel Costacurta	219	12	18,25

Heitor Villa Lobos	1266	51	24,82
John Kennedy	496	21	23,62
Agripino João Tosin	810	29	27,93
Pedro V. Parigot S.	710	35	20,28
Carlos F. Falavinha	536	21	25,52
Ver. André Naldony	787	30	26,23
João Batista Stocco	703	26	27,04
Severo R. Camargo	276	10	27,60
Pque. Monte Castelo	967	32	30,22
Antonio Cavassin	865	38	22,76
Durval Secchi	1449	51	28,41
Jones Tibolla	743	30	24,77
Santa Isabel	503	19	26,47
Gabriel Strapasson	765	32	23,91
Pres. Castelo Bco.	353	16	22,06
Jardim das Flores	212	10	21,20
Vitório Manoel F.	460	19	24,21
Isolina Ceccon	280	13	21,54
Juscelino Kubitschek	443	17	26,06
Elvira Nodari Alberti	382	19	20,10
Santa Fé	114	6	19,00
Angelo Falavinha	376	19	19,79
Nossa Senhora Fátima	655	30	21,83
Pque. Sta. Terezinha	210	10	21,00
Jardim das Graças	322	10	32,20
Jardim Guarujá	245	13	18,85
José F. Weigert	110	6	18,33
Jovino do Rosário	160	8	20,00
Jardim Palmares	97	5	19,40
Jucondo D'Agostin	180	8	22,50
Barão do Mauá	1297	34	38,15
Antonio A. Johnsson	638	22	29,00

FONTE: Pesquisa de Campo (2002)

TABELA 03 - RELAÇÃO ALUNOS MATRICULADOS/PROFESSORES DAS ESCOLAS RURAIS (ANO 2002)

Escola	Alunos	Professores	Alunos/professores
--------	--------	-------------	--------------------

Bortolo Cavassin	48	2	24,00
Eugênio Belotto	106	5	21,20
Fco. Bonato	65	3	21,67
Júlio Juliani	40	2	20,00
Manoel Sparagona	30	2	15,00
M ^a Antonieta Farani	40	2	20,00
Olavo Bilac	46	2	23,00
da Roseira	50	3	16,67
Santa Ana	64	3	21,33
Santa Gema	45	2	22,50
São João	22	1	22,00
Tiradentes	32	2	16,00
Dr. Valentin Milani	54	3	18,00
Vitorino Polli	65	3	21,67
Waldemaro Schmidt	35	2	17,50
Antonio Amilton Trevisan	20	2	10,00
Ângelo Lovato	42	2	21,00
Imbuial da Roseira	130	6	21,67

FONTE: Pesquisa de Campo (2002)

Dados da Tabela 01 revelam que dentre as escolas com número de alunos matriculados superior a 2000, poderia a princípio ser considerado um número elevado para alunos. Entretanto, a relação de número alunos/número professores se dá abaixo de 50 alunos por professor, um índice considerado aceitável para atividades efetuadas em sala de aula. Estes estabelecimentos (Abraham Lincoln e Antônio Lacerda), situam-se justamente na sede e no Alto Maracanã, respectivamente, ou seja atendendo a parte central do município e a região sul, próxima a Curitiba e Pinhais.

Dados da Tabela 02, revelam que as escolas com mais de 1000 alunos matriculados nas escolas municipais, a relação mostrou-se ainda menor do que 30. Situação melhor do que a encontrada nas escolas estaduais.

Entretanto, faz-se necessário e imprescindivelmente destacar que um número baixo de alunos por professor pode ser benéfico do ponto de vista de ocupação do ambiente físico como estrutura da sala, salubridade ou até mesmo qualidade de ensino, mas leva a

refletir se as crianças que não estão presentes naquelas escolas estão ou não matriculadas em outros estabelecimentos, sejam eles públicos ou particulares. Ressaltando que no capítulo IV do estatuto da criança e do Adolescente, em seu artigo 53, diz que: “A criança e o adolescente têm direito a educação, preparo para o exercício da cidadania e qualificação para o trabalho...” (FABRI *et al.*, 2001)

5. PRINCIPAIS CONCLUSÕES

Dentre o proposto, o presente trabalho alcançou seus objetivos ao, adquirir as coordenadas geográficas e/ou planas das 78 escolas existentes no município de Colombo PR e resgatar dados de número de alunos matriculados, número de professores e ainda fotografar cada estabelecimento.

Confeccionar os mapas das escolas, oriundos do levantamento de campo, transpostos em ambiente SIG, procurando manter a veracidade dos dados coletados para que as informações geradas pudessem auxiliar não só o Projeto Paraná em Municípios quanto qualquer outro que manusear as páginas da presente monografia.

Constatou-se que apesar de a princípio parecer um número elevado de escolas, para uma área de 198, 7 km² com população de 197.124 habitantes, mostra que está de bom tamanho e distribuição para a densidade populacional que apresenta a área de estudo.

A relação baixa de número aluno matriculados/número professores pode em alguns aspectos (estrutura física, salubridade, qualidade de ensino) ser benéfica, mas em outros ser crítica, em especial quando se trata de direito a todos de estudar.

Os dados do modelo relacional ainda encontram-se preliminares, indicando a necessidade da continuidade da pesquisa, que continuará em andamento até que seja concluído o Volume 2 do Projeto Paraná em Municípios e que tanto poderá contribuir a comunidade colombense.

9. REFERÊNCIAS

CÂMARA, G.; DAVIS, C. Arquitetura de Sistemas de Informação Geográfica. In.: Apostila On line. On line, 2000b.

CÂMARA, G.; DAVIS, C. Fundamentos de Geoprocessamento. In.: Apostila On line. On line, 2000a.

COLOMBO. Prefeitura Municipal. Guia 1999/2000 Colombo. Comércio, Indústria e Serviços. Convênio.

COMEC (Sistema Internacional de Planejamento). Coordenação da região metropolitana de Curitiba (1979) 1 mapa: color; 74x56 cm, escala 1:50.000, Folha SG 22 X D I 1

COMEC (Sistema Internacional de Planejamento). Coordenação da região metropolitana de Curitiba (1979) 1 mapa:color; 74x56 cm Escala 1:50.000 Folha SG 22 X D I 2.

COMEC (Sistema Internacional de Planejamento). Coordenação da região metropolitana de Curitiba (1979) 1 mapa: color; 74x56 cm Escala 1:50.000 Folha SG 22 X D I 3

COMEC (Sistema Internacional de Planejamento). Coordenação da região metropolitana de Curitiba (1979) 1 mapa : color, 74x56 cm Escala 1:50.000 Folha SG 22 X D I 4.

FABRI, S. M. *et al.* Atlas Do Município De Morretes - Pr. Curitiba: Ed. UTP,2001

FABRI, V. M. Diagnóstico geoambiental do circuito italiano de turismo rural do município de Colombo (PR). Monografia de Conclusão de Curso. Curitiba (PR): UTP, 2000.

FERRARINI,S. O Município de Colombo; Curitiba (PR), 1992.

FERREIRA, J. C. V. O PARANÁ E SEUS MUNICÍPIOS. Editora Memória do Brasil. 20ª Edição. Cuiabá: MT; 1999.

FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Resolução nº4 de 21 de agosto de 2002. Divulga as estimativas da população para os Estados e Municípios. Relator:

Sérgio Besserman Vianna. Diário Oficial da União, Brasília, 30 ago. 2002. Sec. 1, p.133.

INPE. Departamento de Processamento Digital de Imagens. Manual de Operações do SPRING: versão 3.5. São José dos Campos, SP. 2001. Pelo site www.dpi.inpe.br

LANDSAT TM 5. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1997. Imagem de Satélite. Canais 5, 4 e 3.

MAACK, K,R. Geografia Física do Estado do Paraná. Livraria José Olympio; 2ª edição. Rio de Janeiro: RJ; 1968.

REVISTA ROTEIRO METROPOLITANO. Circuito Italiano de Turismo Rural. Colombo (PR), out. 2001. 22p.

ROCHA,C.H.B; Geoprocessamento-Tecnologia Transdisciplinar. Edição do Autor; Juiz de Fora: MG; 2000. 220p.

WONS, I.; Geografia do Paraná; Editora Ensino Renovado; 6ª edição. Curitiba PR; 1994.

OTIMIZAÇÃO DE ROTAS ATRAVÉS DA WEB

Melissa Marchiani Palone Zanatta¹
José Hamilton Azenha Pereira²
Mario Augusto Pazoti³

- 1 Universidade Estadual Paulista - melissa@prudente.unesp.br
- 2 Universidade Estadual Paulista - hamilton@prudente.unesp.br
- 3 Universidade do Oeste Paulista - pazoti@apex.unoeste.br

RESUMO

Este artigo apresenta a implementação de um algoritmo para resolver o problema de otimização de rotas de viagens entre dois pontos (origem e destino) através do método de busca do caminho mínimo. Pretende-se neste artigo apresentar a proposta de extensão desta implementação para resolver o problema de rotas para mais de dois pontos destinos e deixa-la disponível em um sistema de navegação terrestre na WEB para que qualquer usuário possa através do acesso à Internet apresentar os pontos a serem visitados e obter o caminho mínimo.

Problemas de Otimização, na sua forma geral, têm como objetivo maximizar ou minimizar uma função definida sobre um certo domínio. A teoria clássica de Otimização trata do caso em que o domínio é infinito. Entretanto, em problemas de Otimização Combinatória o domínio é tipicamente finito; além disso, em geral estes problemas listam os seus elementos e também testam se um dado elemento pertence a esse domínio.

Os problemas de Otimização Combinatória aparecem quando a partir de um conjunto discreto e finito de dados, tem que selecionar o melhor subconjunto que satisfaz a determinados critérios. Um fato que tem motivado os estudos na área é a dificuldade de solução da maioria dos problemas de Otimização Combinatória. Até o momento não se conhecem abordagens eficientes, em tempo de processamento e/ou memória, de solução geral para esses problemas. Como exemplos clássicos de problemas de otimização combinatória são citados os seguintes: do caixeiro viajante; da mochila; da cobertura mínima por conjuntos; o da floresta de Steiner e; o de encontrar um conjunto independente máximo em um grafo.

Neste artigo é apresentado um algoritmo desenvolvido na linguagem Delphi através da Programação Dinâmica.

Palavras-chave: Otimização; Internet; Programação Dinâmica

ABSTRACT

This article presents the implementation of an algorithm to decide the problem of optimization of routes of trips between points (origin and destination) through the method of search of the minimum way. It is intended in this article to present the proposal of extension of this implementation to decide the problem of routes for more than points destinations and leaves it available in a terrestrial navigation system in the WEB so that any user can through the access to the InterNet present the points to be visited and to get the minimum way.

Problems of Optimization, in its general form, have as objective to maximize or to minimize a function defined on a certain domain. The classic theory of Optimization deals with the case where the domain is infinite. However in problems of Combinatorial Optimization the domain is typically finite; moreover, in general these problems list its elements and also they test if data element belong to this domain.

The problems of Combinatorial Optimization appear when from a discrete and finite set of data, it has that to select the best subgroup that satisfies the definitive criteria. A fact that has motivated the studies in the area is the difficulty of solution of the majority of the problems of Combinatorial Optimization. Until the moment efficient boardings are not known, in time of processing and/or memory, general solution for these problems. As classic examples of problems of Combinatorial Optimization the following ones are cited: of the traveling teller; of the knapsack; of the minimum covering for sets; of the forest of Steiner e ; to find a maximum independent set in a graph. In this article an algorithm developed in the Delphi language is presented through the Dynamic Programming.

Keywords: Optimization; InterNet; Dynamic Programming.

1. INTRODUÇÃO

A área de otimização trata da melhor alocação de recursos para um conjunto de atividades, de modo que objetivos ou metas pré-estabelecidas sejam minimizados (custos) ou maximizados (lucros). São abordados Métodos Exatos, que utilizam conceitos de Programação Matemática e de Grafos, e Métodos Heurísticos, cujo objetivo é o de encontrar soluções próximas a uma solução ótima, mas num tempo computacional reduzido.

A Programação Dinâmica resolve problemas combinando as soluções dos subproblemas. Programação refere-se a um método tabular, não à programação no computador. A técnica dividir para conquistar particiona o problema em

subproblemas independentes, resolve-os recursivamente, e então combina suas soluções para resolver o problema original. A programação dinâmica por sua vez é aplicável quando os subproblemas não são independentes, havendo assim a necessidade de uma tabela para armazenamento dos resultados a serem compartilhados e evitar cálculos repetidos.

A programação dinâmica pode ser dividida em quatro passos:

- caracterizar a estrutura de uma solução ótima;
- definir recursivamente o valor de uma solução ótima;
- cálculo do valor de uma solução ótima;
- construir uma solução ótima a partir da informação computada.

Os passos de 1 a 3 formam a base de uma solução por programação dinâmica para um problema. O passo 4 é necessário quando se necessita informação adicional para facilitar a computação do passo 3.

O algoritmo que resolve o problema de rotas neste artigo, identifica os pontos possíveis de visitação e os caminhos possíveis a serem percorridos através de um grafo. A partir destas informações, o algoritmo apresenta qual é o caminho mínimo (tempo ou km). Este algoritmo é recursivo e pode ser resolvido para uma origem e um destino.

A proposta é estender a resolução deste algoritmo para que a partir de um grafo com os possíveis caminhos de visitação identificados, o usuário possa identificar mais de um ponto destino a ser percorrido para obter o caminho mínimo entre todos os pares de pontos possíveis. Para esta resolução está sendo estudado o método simplex e o método de busca em grafos.

Um grafo pode ser determinado como sendo um conjunto de vértices (ou nós, dependendo da bibliografia) e arcos que conectam esses vértices. Matematicamente temos: $G=(V,E)$. Se u e v são elementos de V então um arco pode-se representar por (u,v) . Os Grafos também se podem classificar como sendo não direcionados (os arcos não têm uma direção e portanto (u,v) e (v,u) representam o mesmo arco) e direcionados (os arcos têm uma direção definida e assim (u,v) e (v,u) representam arcos diferentes) [PUCCINI, 1984].

O objetivo do método de busca em grafos é obter um processo sistemático de como caminhar por seus vértices e arestas. Os algoritmos mais conhecidos deste método são o de busca em largura e o de busca em profundidade.

O método Simplex é um algoritmo que se utiliza de uma ferramental baseado na álgebra linear para determinar, por um método iterativo, a solução ótima de um PPL (problema de programação linear), além de ser o método mais utilizado na solução de problemas de otimização (maximização ou minimização) de funções. Apesar de muito difundido, existem ainda outros métodos que também podem ser utilizados na otimização de funções lineares com restrições envolvidas [GOLDBARG, 2000].

Através do estudo do método de busca em grafos, do simplex, de uma linguagem de programação para WEB e de um sistema de navegação terrestre é que

se propõe neste artigo a extensão do algoritmo implementado para resolução do problema de rotas através da WEB para mais do que um ponto destino.

A seção dois apresenta o acesso à dados geográficos via WEB. Na seção três, o algoritmo do caminho mínimo é explicado e mostrado através de figuras. A seção quatro apresenta a proposta de extensão do algoritmo apresentado na seção três. Na seção cinco, considerações finais são expostas. As referências bibliográficas são apresentadas na seção seis.

2. SISTEMA DE NAVEGAÇÃO TERRESTRE NA WEB

Uma das linhas de pesquisa e desenvolvimento em geoprocessamento que mais vem despertando o interesse da comunidade é o acesso a dados geográfico via Internet.

Segundo [Câmara, 1993], como em qualquer linha de desenvolvimento recente, existem diversos tipos de enfoques, vistos a seguir.

Uma das alternativas mais adotadas consiste em oferecer ao usuário, através de um *browser*, um formulário para preenchimento. Neste formulário são solicitadas informações quanto à região geográfica de interesse (muitas vezes solicitando uma referência explícita a um número de mapa), à composição do mapa, isto é, as camadas que deverão aparecer e alguns elementos de composição visual (cores, espessura de linhas, cores ou hachuras de preenchimento). Quando o usuário termina o preenchimento do formulário, as informações são transmitidas para um servidor, que recupera os dados necessários e converte o mapa final para um formato de imagem, como GIF ou JPEG.

Esta imagem é então inserida numa página Web criada instantaneamente, e transmitida para o usuário. Este processo é talvez o mais natural do ponto de vista dos *browsers*, uma vez que lida com a apresentação de imagens, coisa que qualquer *browser* é capaz de fazer. No entanto, é uma alternativa problemática, por diversos motivos. Em primeiro lugar, porque não deixa o usuário “navegar” interativamente pelo mapa. Além disso, a transmissão de imagens é em geral demorada, e realizada de forma repetitiva tende a sobrecarregar os recursos de rede. Por fim, existe o problema de sobrecarga no servidor, que precisa construir o mapa em formato imagem, geralmente a partir de um banco de dados vetorial, e transmiti-lo para o cliente. Note-se que qualquer operação simples, como *zoom* ou *pan*, exige a formação de um novo mapa-imagem e nova transmissão.

Outra alternativa é a que apresenta para o usuário um mapa chave, solicitando que indique, com o *mouse*, qual é a região de seu interesse. Esta abordagem permite um grau um pouco maior de flexibilidade, mas não resolve os problemas principais da alternativa anterior, ou seja, custos de processamento e transmissão, além de não resolver completamente o problema de navegação. As duas alternativas apresentam

o grau de interatividade com o usuário muito baixo na escolha da região desejada, e o resultado está restrito a um modelo de fragmentação do espaço que foi previamente decidido.

Mais interessante do que a transmissão de imagens seria a transmissão de objetos geográficos com representação vetorial. Desta maneira, o usuário poderia ser livre para decidir a região de interesse, bem como para ativar ou desativar as camadas que deseja.

Idealmente, os objetos vetoriais transmitidos seriam armazenados na memória da máquina cliente, para que pudessem ser reaproveitados no caso de operações de *zoom* ou *pan*, ganhando tempo para aumentar a interatividade. Outra possibilidade interessante é a aplicação ao mapa vetorial do conceito de “hipermapa”, simulando nos símbolos e objetos vetoriais disponíveis a operação dos *links* de hipertexto comuns nas páginas da Web. Assim, bastaria por exemplo clicar sobre o símbolo de um hospital para consultar seus dados alfanuméricos associados.

A transmissão de dados geográficos em formato vetorial pela Internet tem um obstáculo: nenhum dos *browsers* está preparado para receber e apresentar informações neste formato. Para que isto seja possível, existem duas alternativas.

A primeira, que vem sendo adotada por diversos desenvolvedores de SIG, consiste em criar um *plug-in*, ou seja, um programa que funciona no computador do usuário, conectado ao *browser*. Este *plug-in* reconhece os dados vetoriais à medida que chegam, geralmente agrupados em um arquivo com extensão padronizada, e os exibe na tela. Esta alternativa tem a desvantagem de exigir a transmissão (*download*) dos *plug-ins* a partir do *site* do desenvolvedor, o que pode ser uma operação demorada (os *plug-ins* mais comuns têm por volta de 1 Mbyte). Além disso, exige a execução de um procedimento de instalação. Como os *plug-ins* são específicos para os principais *browsers* do mercado, que estão em constante evolução, é preciso atualizá-los periodicamente.

A outra alternativa consiste em criar uma aplicação na linguagem Java, que será transmitida no momento do acesso e executada na máquina do usuário, dispensando procedimentos complicados de instalação ou mesmo a ocupação de área em disco. A aplicação desaparece da máquina do usuário no momento em que é desativada. Assim, novas versões não precisam ser distribuídas, pois estarão disponíveis instantaneamente a partir do momento de sua instalação no servidor. Os dados são recebidos e tratados objeto por objeto, facilitando a implementação de *caches* locais. Cada objeto precisa ser transmitido uma única vez, sendo que operações posteriores de *zoom* ou *pan* podem apenas utilizar os dados já presentes na *cache*.

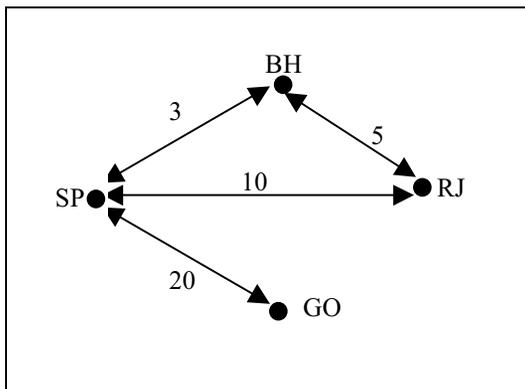
3. ALGORITMO DO CAMINHO MÍNIMO

O algoritmo apresentado a seguir é conhecido como Algoritmo de Floyd-Warshall, e baseia-se no método de busca do Caminho Mínimo (Dijkstra, 1959). Este Algoritmo é muito eficiente do ponto de vista de armazenamento pois se por exemplo, a matriz possui 4 linhas (representando 4 cidades), a cada linha o algoritmo calcula novas distâncias e se estas forem menores do que as distâncias anteriores, pode-se fazer a atualização na própria matriz sem que haja necessidade de armazenamento em matrizes diferentes [SZWARCFITER, 1986].

Para exemplificar, suponha uma empresa de transporte rodoviário tem que fazer uma entrega em uma cidade do Rio de Janeiro (RJ) partindo de uma cidade de Goiás (GO). Suponha que as rodovias que saem de (RJ) e chegam em (GO) formam uma rede interligando outras cidades conforme a Figura 01. Como determinar o caminho entre (GO) e (RJ) de modo que a distância percorrida seja mínima?

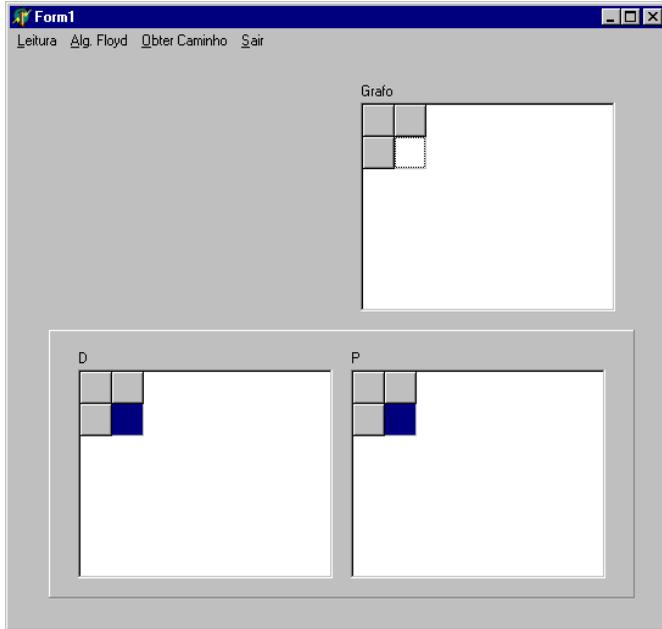
Para resolver esse problema com um número pequeno de cidades, pode-se tentar o método de "tentativa e erro" ou seja tenta-se cada caso e escolhe-se o melhor. Entretanto esta tarefa pode tornar-se muito complicada em se tratando de um número grande de cidades.

FIGURA 01 –ROTAS ENTRE CIDADES E SUAS RESPECTIVAS DISTÂNCIAS



Para resolver este problema, a primeira etapa é executar o algoritmo, onde irá aparecer a janela inicial do mesmo com as seguintes opções: Leitura; Alg. Floyd; Obter Caminho e; Sair, conforme apresentado na Figura 02.

FIGURA 02 - ALGORITMO DO CAMINHO MÍNIMO - INÍCIO



Em seguida, o usuário deve escolher a opção Leitura e informar o número de nós (quantidade de cidades), o rótulo dos nós (nome das cidades, estados, etc.), o número de arcos (ligação entre uma cidade e outra) e o valor (distância entre as cidades apresentadas no grafo - Figura 01). Esta etapa é apresentada na Figura 03.

É importante salientar que na matriz inicial o valor dos elementos que estão na diagonal principal é igual a zero e o valor das células restantes é infinito (∞). O valor zero na diagonal principal é por que não existe distância por exemplo da cidade SP para ela mesma. O valor infinito (∞) é por que não existe nenhuma ligação entre as cidades.

FIGURA 03- ALGORITMO DO CAMINHO MÍNIMO – LEITURA

The screenshot shows a software window titled "Form1" with a menu bar containing "Leitura", "Alg. Floyd", "Obter Caminho", and "Sair". The main area contains input fields for "Número de Nós" (value: 4) and "Número de Arcos" (value: 0). Below these is a section for "Arco: 1" with two input boxes and a "Valor" field (value: 0), followed by a red arrow button. To the right is a "Grafo" matrix table.

	SP	BH	RJ	GO
SP	0	3	10	20
BH	3	0	5	∞
RJ	10	5	0	∞
GO	20	∞	∞	0

Após a leitura da matriz, o usuário deve escolher a opção Alg. Floyd, que apresentará como resultado outras duas matrizes (D e P). A matriz “D” é a matriz de distância. E a matriz P é a matriz que armazena o percurso (Figura 04).

Primeiramente, o algoritmo de Floyd-Warshall fixa a linha e a coluna em 1, não alterando os elementos pertencentes a elas e, compara se os elementos que estão na matriz são maiores do que a soma do elemento correspondente na linha fixada com o elemento correspondente da coluna fixada. Se for, o valor da soma é substituído pelo valor da matriz Grafo na matriz D. Em seguida o algoritmo fixa a linha e a coluna em 2 e repete todo o processo. O algoritmo finaliza quando a linha e a coluna forem fixadas até o valor N, isto é, até a dimensão da matriz.

Por exemplo, na Tabela 1 é apresentada a matriz Grafo. O valor infinito (∞) que se localiza na linha 2, coluna 4 será comparado com a soma do elemento da coluna 4 (linha 1) com o elemento da linha 2 (coluna 1). A escolha da linha 1 e coluna 1 é por estas estão fixas na primeira etapa do algoritmo. Neste caso, $20+3=23$, é menor do que infinito, portanto na matriz D (Tabela 2), onde será armazenada a distância, o valor infinito é substituído pelo valor 23, e na matriz P (Tabela 3), na mesma célula em que foi substituído o valor 23 (linha2, coluna4) na matriz D, é colocado o valor

em que foi fixadas a linha e a coluna (neste caso, o valor 1). As comparações são feitas em todas as células e se alguma substituição de valor for feita na matriz D é necessário que se faça uma atualização na matriz P.

TABELA 1: M. GRAFO

0	3	10	20
3	0	5	¥
10	5	0	¥
20	¥	¥	0

TABELA 2: MATRIZ D

0	3	10	20
3	0	5	23
10	5	0	30
20	23	30	0

TABELA 3: MATRIZ P

0	0	0	0
0	0	0	1
0	0	0	1
0	1	1	0

A partir deste momento, todas as comparações são feitas na Matriz D (que será atualizada quando necessário). Seguindo o raciocínio do algoritmo, é fixada a linha 2 e, a coluna 2.

TABELA 4: MATRIZ D

0	3	10	20
3	0	5	23
10	5	0	30
20	23	30	0

TABELA 5: MATRIZ D

0	3	8	20
3	0	5	23
8	5	0	28
20	23	28	0

TABELA 6: MATRIZ P

0	0	2	0
0	0	0	1
2	0	0	2
0	1	2	0

Na Tabela 4, o valor 10 (linha 1, coluna3) é maior do que a soma do elemento que está na coluna 3 (**linha 2**) com o elemento que está na linha 1 (**coluna 2**), portanto na matriz D (Tabela 5) o valor 10 é substituído pelo valor 8 e na matriz P (Tabela 6) é colocado o valor em que foi fixadas a linha e a coluna (2) e assim por diante.

Neste exemplo, o algoritmo irá finalizar quando se fixar a linha e a coluna em 4 e terminar todas as comparações.

A partir do momento em que as matrizes D e P estão prontas (Figura 04), basta que o usuário escolha a opção Obter Caminho e preencher qual a cidade de origem (Figura 05) e qual a cidade de destino (Figura 06) e então aparecerá para ele qual a distância total a ser percorrida (calculada pela matriz D) e qual o caminho mínimo (rota) que ele deverá seguir (calculada pela matriz P).

FIGURA 04- ALGORITMO DO CAMINHO MÍNIMO – ALG. FLOYD

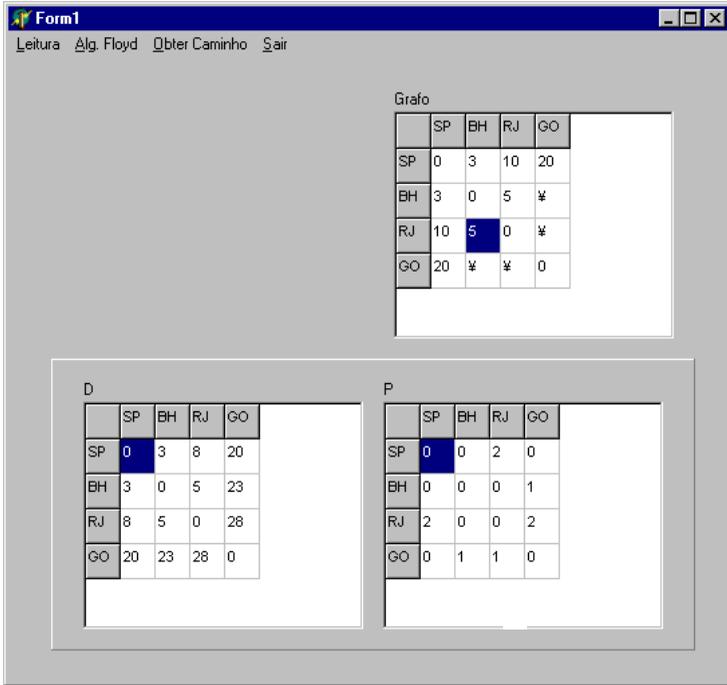


FIGURA 05- ALGORITMO DO CAMINHO MÍNIMO – OBTENÇÃO DO CAMINHO

Origem

Origem:

GO

OK Cancel

FIGURA 06- ALGORITMO DO CAMINHO MÍNIMO – OBTENÇÃO DO CAMINHO

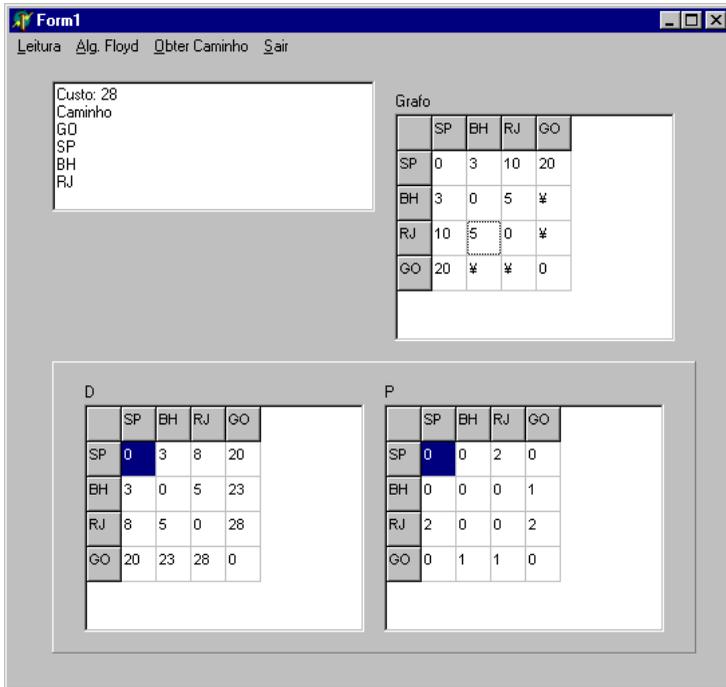
Destino

Destino:

RJ

OK Cancel

FIGURA 07- ALGORITMO DO CAMINHO MÍNIMO – OBTENÇÃO DO CAMINHO



4. PROPOSTA DE EXTENSÃO

O algoritmo apresentado na seção anterior calcula o caminho mínimo entre um par de pontos (uma origem e um destino).

A proposta é estender a resolução deste algoritmo para que o usuário acesse na Internet um sistema de navegação terrestre, onde será disponibilizado um mapa, solicitando que o usuário indique, com o *mouse*, qual é a região de seu interesse.

Internamente o algoritmo irá calcular, através de um grafo, o caminho mínimo entre todos os pares de pontos possíveis e irá apresentar para o usuário qual o percurso que ele deve seguir, a distância entre um ponto e outro e a distância total.

Deve-se ressaltar que na seção 2, foram apresentados todos os problemas que devem ser resolvidos para que o usuário possa acessar o mapa através de um sistema de navegação terrestre. Esta solução ainda está sendo estudada assim como a extensão do algoritmo do caminho mínimo, apresentado na seção anterior.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Uma das linhas de pesquisa e desenvolvimento em geoprocessamento que mais vem despertando o interesse da comunidade é o acesso a dados geográficos via Internet.

O módulo de planejamento do sistema de navegação terrestre a ser estudado nesta proposta considera o problema de representação do banco de dados georreferenciados disponíveis na WEB e a resolução do problema de rotas considerando mais de um ponto destino.

Até o momento presente está disponível o algoritmo apresentado na seção três, desenvolvido na linguagem Delphi, que resolve o problema do caminho mínimo entre dois pontos (origem e destino).

O modelo de dados proposto deve calcular o caminho mínimo entre todos os dois pontos através do método de busca simplex e/ou do método de busca em grafos. Em seguida fazer a roteirização.

Através de um protótipo os dados poderão ser testados e validados.

O modelo de dados utilizado para a representação dos dados georreferenciados e a linguagem de programação para WEB, ainda não foram definidos.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

PUCCINI, A. L.; **Introdução à Programação Linear**, Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 1984.

BAZARAA M. S., e J. J. Jarvis, **Linear Programming and Network Flows**, John Wiley & Sons, 1977.

LUEMBERGER, David. **Linear and Non Linear Programming**, Addison Wesley, 1984.

WILLIAMS, H.P. - **Model Building in Mathematical Programming**, John Wiley & Sons, 1990.

SZWARCFITER, J. L., **Grafos e Algoritmos Computacionais**, 2ª edição, editora Campus, 1986.

GERSTING, Judith L., **Fundamentos Matemáticos para a Ciência da Computação**, Livros Técnicos e Científicos, RJ, 1995.

PAPADIMITRIOU, CH., STEIGLITZ, K. - **Combinatorial Optimization; Algorithms and Complexity**, New Jersey, Prentice Hall, 1982.

SCHRIJVER, A. - **Theory of Linear and Integral Programming**. New York, J. Wiley, 1986.

BEVERIDGE, G. S. G.; SCHECHTER, R. S. **Optimization theory and practice**. Tokyo, Mac Graw-Hill & Sons, New York, 1987

GOLDBARG, M. C. e H. L. L. Pacca,, **Otimização Combinatória e Programação Linear: Modelos e Algoritmos**, Editora Campus, 2000.

BRONSON, Richard. **Pesquisa Operacional**. São Paulo: McGraw-Hill, 1995.

CHRISTOFIDES, N.; MINGOZZI, A and TOTH P. **The vehicle routing problem. In Combinatorial Optimization**, Christofides, N. ; Mingizzi, A ; Toth P. and Sandi C. (eds.). John Wiley, 1979.

EHRlich, Pierre Jacques. **Pesquisa Operacional: curso introdutório**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 1991.

WAGNER, Harvey M. **Pesquisa Operacional**. 2. ed. Rio de Janeiro: Prentice-Hall, 1996.

MORGAN, E.; BURTON, K. W.; NICKLESS, G. **Optimization using de super modified simplex method. Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems**, n.8, p. 97-107, 1990.

CAMARA, G. Anatomia de Sistemas de Geoprocessamento: Visão Atual e Perspectivas de Evolução. In **Anais do II Simpósio Brasileiro de Geoprocessamento**, pages 158-183, 1993.

KOHL, N. and MADSEN O. B. G. **An optimization algorithm for the vehicle routing problem with time windows based on Lagrangian relaxation**. Operations Research 45: 395-406, 1997.

GALVÃO, R.D.; RAGGI, L.A.: "A method for solving to optimality uncapacitated location problems". Annals of Operations Research, **18**, 225-244, 1989.

PROJETO DE INTERFACES PARA ATLAS ELETRÔNICOS

Luciene Stamato Delazari¹
Jorge Pimentel Cintra²

1 Universidade Federal do Paraná – luciene@ufpr.br

2 Universidade de São Paulo – jpcintra@usp.br

RESUMO

Este trabalho apresenta a abordagem utilizada para a construção do Protótipo do Atlas Eletrônico Interativo do Estado do Paraná. Primeiramente é feita uma revisão sobre conceitos de interfaces e de interatividade. Em seguida é mostrada sua aplicação na cartografia. Finalmente descrevem-se os objetivos propostos para o desenvolvimento do Atlas, as funções e operações a serem implementadas e os resultados esperados.

Palavras-chave: Atlas eletrônico; Interfaces; Interatividade

ABSTRACT

This paper presents the approach to develop the Interactive Electronic Atlas of Parana State. First there is a review about interfaces and interactivity concepts. It is shown the application of these concepts in the cartography. Finally there is a description of the objectives proposes to the Atlas as wel as functions and operations that will be implemented.

Keywords: Electronic Atlas; Interfaces; Interactivity

1. INTRODUÇÃO

Neste trabalho apresenta-se o projeto denominado Atlas Social Interativo do Estado do Paraná, que está sendo desenvolvido sob a forma de uma tese de doutorado em andamento junto ao Departamento de Engenharia de Transportes da Escola Politécnica da USP. Seu principal objetivo é a construção de um protótipo de um Atlas Eletrônico Interativo para o Estado do Paraná, tendo como foco de interesse as informações da área de Assistência Social.

O protótipo do Atlas está sendo implementado utilizando a linguagem de programação Visual Basic 6.0, juntamente com o MapObjects 2.0a, conjunto de classes desenvolvido pela empresa ESRI (Environmental Systems Research Institute). Serão apresentados os conceitos de interfaces e interatividade, bem como os recursos propostos para implementação do Atlas Interativo.

Atualmente, existem possibilidades de inclusão de diferentes recursos de interatividade na geração de produtos cartográficos, que acarretam em mudanças tanto quantitativas como qualitativas. Quantitativamente, é possível gerar uma variedade de visualizações em menor tempo. Qualitativamente, a interação com as visualizações em tempo quase real é possível. Isto transforma o mapa de um produto basicamente estático para uma ferramenta dinâmica e introduz novas necessidades para o projeto das interfaces (Taylor, 1994). Isso concorda com a tendência das últimas décadas, de dar cada vez mais importância à interface de aplicações computacionais.

Cramptom (2002), define interatividade na visualização cartográfica como um “sistema que muda a apresentação dos dados em resposta às entradas do usuário”. O termo sistema é utilizado no contexto deste trabalho para designar um programa computacional. Os conceitos de interatividade e de projeto de interfaces para desenvolvimento de aplicativos em visualização cartográfica são utilizados quando se trata do desenvolvimento de Atlas Eletrônicos. Um dos pontos de discussão na Comissão de Atlas da Associação Cartográfica Internacional (ICA – International Cartographic Association) diz respeito ao modo de implementação destes novos conceitos para projeto de Atlas, incluindo os mapas interativos e dinâmicos.

2. INTERFACE E ESTILOS DE INTERAÇÃO

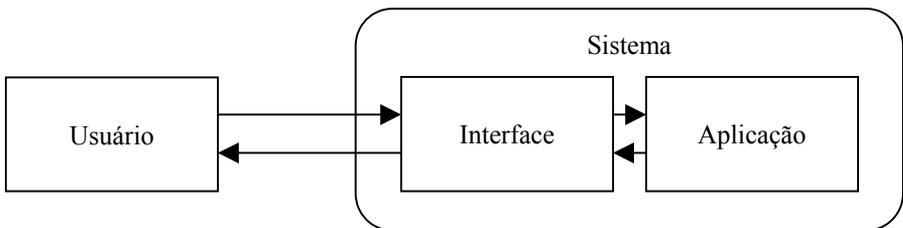
O termo interface é aplicado normalmente àquilo que interliga dois sistemas. Segundo Leite (2002), considera-se que uma interface homem-máquina é a parte de um artefato que permite a um usuário controlar e avaliar o funcionamento deste artefato através de dispositivos sensíveis às suas ações e capazes de estimular sua percepção. No processo de interação usuário-sistema a interface é o combinado de software e hardware necessário para viabilizar e facilitar os processos de comunicação entre o usuário e a aplicação. De acordo com Eberts (1994) citado por Lucena (1998), o projetista de interface deve conhecer a atividade cognitiva do usuário para projetar interfaces efetivas e fáceis de usar.

A interface pode ser considerada tanto um meio para a interação usuário-sistema, quanto uma ferramenta que oferece os instrumentos para este processo comunicativo. Desta forma a interface é um sistema de comunicação. A interface possui componentes de software e hardware, sendo que os componentes de hardware compreendem os dispositivos com os quais o usuário realiza as atividades motoras e perceptivas, por exemplo, a tela, o teclado e o mouse. O software da interface é a

parte do sistema que implementa os processos computacionais necessários as seguintes tarefas: controle dos dispositivos de hardware; construção dos dispositivos virtuais com os quais o usuário também pode interagir; geração dos diversos símbolos e mensagens que representam as informações do sistema, e; interpretação dos comandos dos usuários.

A **interação** é um processo que engloba as ações do usuário sobre a interface de um sistema, e suas interpretações sobre as respostas reveladas por esta interface (Figura 1).

FIGURA 1 – PROCESSO DE INTERAÇÃO USUÁRIO-SISTEMA
ADAPTADO DE LEITE (2002)



Existem diferentes estilos de interação que podem ser aplicados, de acordo com os tipos de operações. Segundo Schneiderman (1987) citado por Lindholm e Sarjakoski (1994), existem 5 categorias de interação:

- a) interfaces de linha de comando: permitem que o usuário forneça instruções diretamente ao sistema por meio de comandos específicos. É uma interface poderosa e flexível mas necessita que o usuário aprenda a linguagem. As dificuldades do usuário com interface baseadas em linha de comandos e linguagem de programação estão associadas a memorizar um número grande de nomes de operadores, escrever a sintaxe dos comandos corretamente e selecionar o operador apropriado para cada tarefa;
- b) interfaces de linguagem natural: tipo de interface menos usual e que também envolve comandos digitados pelo usuário, mas na linguagem utilizada no dia a dia. Entretanto, exige muito esforço para discutir análises espaciais, o que torna seu uso pouco prático;
- c) interface de preenchimento de formulários: apresenta ao usuário um conjunto de campos a serem preenchidos, lembrando um formulário de papel. É eficiente para entrada e recuperação de informações de localizações específicas, entretanto, este estilo de interface não é adequado para análise exploratória, exceto em situações como fornecer limites numéricos de categorias. As interfaces por formulários auxiliam o usuário na construção de comandos corretos. Uma vez que todas as opções são apresentadas sob a forma de listas e botões de escolha, o comando construído através de formulários fica livre de erros de sintaxe;

d) interface de seleção de menus: fornece ao usuário algumas possibilidades sob a forma de menus ou listas. A seleção de menus reduz a flexibilidade por limitar as opções a um número pré-definido de escolhas. Este estilo de interação necessita que os menus sejam auto-explicativos. Um menu de seleção pode tomar a forma de um grupo de botões de opção (radio buttons), ou botões de seleção (check boxes);

e) interfaces de manipulação direta: o usuário, através do mouse, manipula elementos que representam as operações do sistema. As interfaces gráficas baseadas em manipulação direta permitem a interação do usuário com o sistema mediante o ato de apontar, mover ou conectar representações de objetos do sistema na tela do computador.

Em qualquer dos tipos utilizados de interface, deve-se seguir alguns critérios, de modo a permitir o melhor aproveitamento da aplicação. A interface deve ser de fácil aprendizado, de uso fácil e flexível.

3. INTERFACES INTERATIVAS NA CARTOGRAFIA

O projeto de interfaces interativas para cartografia requer que se faça um estudo sobre como aproveitar as técnicas de interação para que as funções de visualização sejam utilizadas da maneira adequada. Um ponto importante quando se trata de interatividade em cartografia é que o fenômeno que está sendo representado é o mesmo utilizado para navegação e interação (Cartwright et al, 2001).

As interfaces interativas para visualização cartográfica devem permitir que o usuário possa realizar algumas tarefas básicas, como por exemplo: mudança de escala (zoom in e zoom out), mudança no nível de generalização da informação, deslocamento (pan), acesso a atributos e manipulação de parâmetros de representação (cor, textura). Um ponto importante é que as interfaces devem ser projetadas obedecendo aos aspectos cognitivos da obtenção da informação.

A interação com a visualização da informação, sob a forma de mapas ou outros tipos de informação, depende da tecnologia computacional recente. Como resultado, não existem regras definidas para o projeto ou uso de controles interativos para mapas. Entretanto, há uma série de pesquisas que estão sendo conduzidas em diversas áreas, desde aquelas com ênfase no projeto do sistema, mas não necessariamente na informação espacial (interação homem-computador), passando por aquelas cuja ênfase está na representação e análise da informação (estatística), até aquelas onde a representação da informação espacial é o foco (cartografia).

A interatividade tem sido assunto de interesse de diversos pesquisadores da área de visualização cartográfica. A capacidade para manipular dinamicamente as representações mapeadas tem o potencial de alterar substancialmente a experiência de “leitura” do mapa. O ato, freqüentemente passivo, de leitura de um mapa é transformado em um processo ativo de manipulação da informação e construção do conhecimento. A introdução da interatividade no mapeamento traz questões a

respeito do que controlar (manipulação de dados, visualização) e como controlar cada componente de um sistema de análise da informação espacial. Existem diferentes opiniões sobre seu uso e a maneira como é empregada.

Segundo Cartwright et al (2001), existe uma diferença entre a interatividade em geral e interatividade da tecnologia. O que é interativo na tecnologia computacional não é a tecnologia em si mesma, mas sua interface. MacEachren (1994), sugere que alguns tipos de interatividade são inerentemente mais poderosos do que outros. Cita foco, *brushing* e ligações como as implementações mais importantes de interatividade.

Avaliando a literatura sobre o assunto, conclui-se que “interatividade” é um termo nebuloso. Entretanto, pode-se afirmar que alguns tipos de interatividade são “maiores” ou mais complexos do que outros. Além disso, a interatividade é altamente dependente do contexto e da situação do usuário. Crampton (2002) define interatividade na visualização cartográfica como um “sistema que muda sua apresentação dos dados em resposta às entradas do usuário”. A resposta do sistema necessita ocorrer em um curto intervalo (menor do que 1s), de modo a manter o sentido da interatividade em tempo real. Sistemas de visualização *altamente* interativos podem ser definidos não somente como aqueles sistemas que incorporam *mais* tipos de interação, mas aqueles que *combinam* diferentes tipos de interatividade para permitir questionamentos mais sofisticados.

Crampton (2002), faz uma distinção de quatro tipos de interatividade, mostrados na Figura 2. Nesta classificação, pode existir interação com a representação dos dados, considerada baixa interatividade, interações com os dados em si, considerada alta interatividade, interatividade com a dimensão temporal, sendo esta média interatividade, e o chamado contexto da interação, também considerado alta interatividade.

Na **interação com a representação dos dados**, o usuário obtém diferentes vistas (perspectivas) dos dados, por meio da manipulação da sua aparência. Nesta classificação encontram-se as seguintes operações/tarefas:

- Iluminação: este fator pode variar desde o ângulo de iluminação sobre um mapa de relevo sombreado até manipulações mais sofisticadas de atributos de iluminação de imagens de sensores remotos. O efeito da iluminação sobre uma cena pode ter considerável influência sobre o grau de dificuldade na interpretação ou reconhecimento de padrões;

- Mudança de ponto de vista: neste processo, a metáfora “modelo e câmera” é adotada, com o ponto de vista do usuário dado por uma câmera virtual. Uma mudança na posição relativa da câmera fornece uma visão diferente dos dados;

- Mudança na orientação dos dados: neste caso, utiliza-se a metáfora “modelo e câmera” para re-orientar os dados, permitindo uma nova perspectiva. Como exemplo, em um ambiente 3D, a interface pode proporcionar funções para “girar” a superfície de um ponto de vista planimétrico para uma vista em perspectiva;

- Zoom in / zoom out: esta categoria de interação é a mais facilmente encontrada em sistemas de mapeamento online, desmonstrando a mudança na escala de apresentação dados;

- Redimensionamento: este termo se refere a alterar os parâmetros de dimensão da visualização dos dados, por exemplo, alterando a escala dos eixos de um gráfico de linear para uma escala logarítmica;

- Mudança de símbolos: o conceito de mudança de símbolos consiste em mudar o esquema de simbolização, por exemplo, mudanças em variáveis como tamanho, forma e orientação.

FIGURA 2 – TIPOLOGIA PRELIMINAR SOBRE INTERATIVIDADE
ADAPTADO DE CRAMPTON (2002)

Interação com a representação dos dados (baixa)	Interação com a dimensão temporal (média)
<ul style="list-style-type: none"> • Iluminação • Ponto de vista • Orientação dos dados • Zoom in / zoom out • Redimensionamento • Mudança de símbolos cartográficos 	<ul style="list-style-type: none"> • Navegação • Vôos • “<i>Toggling</i>” • Classificar
Interação com os dados (alta)	Contexto da Interação (alta)
<ul style="list-style-type: none"> • Consulta à base de dados ou “<i>Data Mining</i>” • “<i>Brushing</i>” <ul style="list-style-type: none"> ○ Estatístico ○ Geográfico ○ Temporal • Filtragem (exclusão) • Ênfase (“<i>highlighting</i>”) 	<ul style="list-style-type: none"> • Vistas múltiplas • Combinação de níveis de informação • Justaposição de janelas • “<i>Linking</i>”

Dentro da categoria de **interação com a dimensão temporal** existem diferentes graus de interatividade, e que podem ser utilizados isoladamente ou em conjunto com outras técnicas. Por esta razão são classificados como um nível “médio” de interatividade. Os mapas dinâmicos referem-se a “visualizações que mudam

continuamente, com ou sem controle por parte do usuário” (Slocum, et al 2001). Dentre os recursos utilizados encontram-se:

- Navegação: a navegação através do ambiente físico tem recebido grande atenção por parte dos cartógrafos e inclui decisões cognitivas na representação mental. Em um ambiente de mapeamento interativo o usuário é defrontado com escolhas sobre qual caminho tomar ao longo de uma superfície virtual;

- *Fly-by* ou *fly-through*: como o nome indica, significa uma viagem através do terreno com recursos de animação. Utiliza-se uma seqüência consecutiva de quadros (frames) de uma superfície, que dão a aparência de movimento ao longo da mesma. Pelo menos de 15 a 24 quadros por segundo são necessários para dar esta aparência. Na sua forma mais básica o *fly-by* não é altamente interativo, mas apresenta uma animação pronta para o usuário. A rota não é manipulável, mas alguma interatividade é disponível, tal como a velocidade da animação, direção (para frente ou para trás) e o avanço quadro a quadro. Estes elementos dão a sensação de controle. Na forma mais sofisticada, para a qual o termo *fly-through* deve ser utilizado, os observadores podem escolher sua própria rota. Por exemplo, em um mapa VRML 3D o observador pode manipular a velocidade e a escala, bem como os atributos do vôo;

- *Toggling*: é uma técnica que permite a troca entre períodos de tempo para realçar mudanças entre um período de tempo e outro. Em alguns casos o usuário pode estar interessado nos detalhes destas mudanças;

- Classificação: a classificação ou re-ordenamento é um método poderoso de análise que pode revelar tendências que de outro modo estariam escondidas. Em um ambiente de mapeamento interativo os dados podem ser classificados ou ordenados de muitas maneiras.

Com relação à **interação com os dados**, a ênfase está nos dados, e em geral, os níveis de interatividade são altos. Os tipos possíveis de recursos são:

- Consulta à base de dados ou “*Data Mining*”: o objetivo do *Data Mining*, ou descoberta de conhecimento em bases de dados (*Knowledge Discovery in Databases* - KDD) é descobrir padrões e tendências escondidas, especialmente em bases de dados grandes. O *Data Mining* está relacionado a um dos aspectos fundamentais da visualização cartográfica – explorar o desconhecido;

- *Brushing* (estatístico, geográfico e temporal): o *brushing* é um tipo de interatividade de longa duração. O objetivo é explorar correlações entre padrões geográficos e estatísticos. Devido aos 3 tipos de *brushing* serem relacionados, o usuário pode explorar os dados movendo uma barra de tempo para visualizar padrões geográficos ou a partir de mudanças em um gráfico estatístico, examinar o resultado no mapa. Isto poderá revelar qualquer regularidade estatística na região geográfica;

- Filtragem: filtrar os dados é um processo de generalização no qual os dados podem ser excluídos, simplificados ou omitidos da visualização;

- Ênfase (*highlighting*): destacar dados é conceitualmente oposto à filtragem, ou seja enfatiza certos dados, por exemplo, fazendo piscar a pista correta para pouso de uma avião em um aeroporto.

O **contexto da interação** é abordado aqui como a maneira pela qual os dados são selecionados ou comparados, ou o ambiente da aplicação. O contexto no qual a informação aparece é crítico para análise, e as conclusões feitas a partir dos dados são afetadas por ele. Em diferentes contextos os mesmos dados podem ter aparências diferentes. Deve-se enfatizar que o objetivo da visualização cartográfica não é necessariamente fornecer a solução correta, mas um conjunto de ferramentas que podem ser empregadas e usadas para permitir o entendimento dos dados em diferentes contextos. Podem ocorrer as seguintes situações, relacionadas ao contexto:

- Vistas múltiplas: um sistema que fornece múltiplas vistas dos mesmos dados, seja simultaneamente ou sequencialmente, possibilita melhores soluções para os dados. Isso permite ao usuário decidir qual a melhor representação para seu caso, como por exemplo a utilização de diferentes projeções cartográficas;

- Combinação de níveis de informação: esta funcionalidade é comum em GIS. Normalmente há a combinação de 2 ou mais níveis para gerar um novo nível;

- Justaposição de janelas: diferentes janelas do sistema podem ser justapostas de modo a permitir visualizar várias perspectivas dos dados;

- “*Linking*”: é uma técnica que conecta ou indexa um conjunto de dados a outro. As ligações não necessitam ser dinâmicas.

Avaliando alguns produtos disponíveis para consulta, percebe-se que apresentam alguns destes recursos. Por exemplo, o Atlas do Canadá (<http://atlas.gc.ca/site/index.html>) apresenta funções de *zoom in* e *zoom out*, ênfase e filtragem; é possível também obter informações sobre os mapas que estão sendo apresentados. A interface deste Atlas é projetada para a Internet, o que limita as possibilidades. As opções são escolhidas por meio de menus ou ícones.

Já o Atlas dos Estados Unidos (www.nationalatlas.gov), também desenvolvido para Internet possui um projeto diferente. Existem janelas específicas para apresentação das informações, como pode ser visto na Figura 3. Uma delas apresenta o mapa selecionado, outra é destinada à escolha de níveis, para realização de consultas ou para visualização da legenda, de acordo com a escolha feita pelo usuário. Com relação às funções implementadas, encontram-se zoom, destaque e seleção de informações específicas.

Enquanto a Internet limita o que pode ser implementado em termos de funções, operações e recursos de interatividade, há trabalhos de pesquisa que buscam suprir as lacunas existentes em termos de pesquisa e desenvolvimento nesta área. Exemplos são os softwares ColorBrewer e HealthVIS. O primeiro, disponível no endereço www.personal.psu.edu/faculty/c/a/cab38/ColorBrewerBeta2.html, foi desenvolvido tendo como objetivo permitir ao usuário escolher entre diferentes

esquemas de cores para mapas temáticos. É possível definir o número de classes e o tipo de informação que será representada, se nominal ou ordinal. Um exemplo está mostrado na Figura 4. Sua interface é simples, sendo que cada opção é apenas ativada ou desativada da visualização.

FIGURA 3 – EXEMPLO DA INTERFACE DO ATLAS DOS ESTADOS UNIDOS

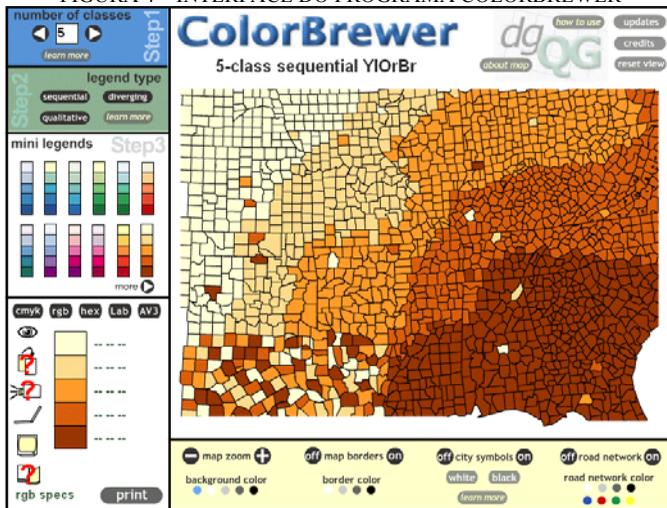


O software HealthVIS é um sistema de visualização para auxiliar no trabalho de exploração de dados epidemiológicos, em busca de novos padrões ou tendências, tanto espaciais como temporais. A interface apresenta possibilidades de selecionar a causa de morte, velocidade da animação e visualização dos gráficos correspondentes. É possível combinar a causa da morte com fatores de risco para avaliar a relação entre as duas variáveis.

3.1. NÍVEIS DE ANÁLISE PARA PROJETO DE INTERFACE EM SISTEMAS DE VISUALIZAÇÃO CARTOGRÁFICA

Da mesma forma que no projeto de mapas, o projeto de interfaces possui uma abordagem em vários níveis, dentro dos quais as decisões são realizadas. Uma interface pode ser considerada um sistema para processamento de informação, que traduz “linguagens” entendidas pelo usuário e pela plataforma computacional. Projetar e construir um sistema requer atenção a questões anteriores à implementação. O projeto da interface e do sistema devem ser abordados em vários níveis, num esforço para prevenir que as características de hardware e software determinem os objetivos do sistema. Uma estratégia em vários níveis permite atenção específica ao objetivo do sistema, o que é necessário fazer e como fazer.

FIGURA 4 – INTERFACE DO PROGRAMA COLORBREWER



Lindholm e Sarjakoski (1994) especificam 3 níveis de análise: conceitual, funcional e de aparência.

- a) O nível conceitual trabalha com o uso e operação do sistema. As questões críticas são: para que o sistema é projetado, e quais resultados são esperados a partir do uso do sistema. Discute-se também quem são os usuários e que tipo de dados serão visualizados;
- b) O nível funcional é onde as operações particulares que o usuário pode realizar são especificadas e o significado e estilo de interação para estas operações são definidas;
- c) O nível de aparência trabalha com a “linguagem de saída”, ou seja, como apresentar a aplicação e os dados ao usuário. A ênfase está na aparência da visualização, incluindo os controles e elementos gráficos que devem aparecer.

Howard e MacEachren (1996) propõem 3 níveis para implementação de um sistema interativo: conceitual, operacional e de implementação.

- a) Nível conceitual: as questões do nível conceitual estão associadas exclusivamente ao sistema, e podem ser definidas como:
 - Qual o objetivo alcançado pelo sistema?
 - Como este objetivo será alcançado?
 - Qual deve ser o resultado do trabalho com o sistema?
 - Para quem o sistema é projetado?
- b) Nível operacional: os objetivos colocados no nível conceitual podem ser alcançados subdividindo-os em uma série de passos, cada um dos quais envolvendo uma operação particular ou função. Este nível envolve a definição das operações

apropriadas para alcançar os objetivos do nível conceitual (exemplo: para o objetivo de comparar duas distribuições, uma função de “*overlay*” pode ser útil). As decisões neste nível são independentes do ambiente de hardware e software que serão usadas para implementar as operações desejadas. Na prática, as ferramentas disponíveis freqüentemente limitam as funções que são especificadas.

c) Nível de implementação: inclui considerações sobre o que o usuário terá que ver e entender de modo a interagir com o sistema. Inclui também considerações a respeito de questões como métodos de armazenamento e recuperação de dados, escolha da plataforma de hardware/software, rotinas de otimização, entre outras. No processo do projeto de interfaces, a tarefa mais importante está relacionada à aparência do sistema. Neste item estão os tipos de controles, a aparência dos mapas (esquemas de cores, legendas), e outras representações que resultam da aplicação de operações, além da aparência geral, ou seja, onde os controles e janelas estão na tela, como manter a consistência na aparência e nos controles.

Para Howard e MacEachren (1996) a escolha mais importante no nível de implementação é o estilo de interação. Normalmente, mais de um estilo de interação pode ser incorporado em uma aplicação em particular, por exemplo, a escala de visualização de um mapa pode ser selecionada em uma lista ou pode ser digitada em um campo específico. A decisão crítica para o projeto de interface é qual estilo de interação combina com cada operação e que seja mais fácil para o usuário entender de modo a permitir seu uso com o mínimo de erro.

4. ABORDAGEM PARA O PROTÓTIPO

Dentre as metodologias encontradas na literatura para projeto de interfaces, optou-se por utilizar a proposta por Howard e MacEachren (1996), que divide a abordagem em 3 níveis: conceitual, operacional e de implementação, que segue a modelagem em níveis de abstração proposta pela Engenharia de Software.

4.1 NÍVEL CONCEITUAL

No nível conceitual várias categorias de objetivos podem ser definidas. Neste nível são definidos os objetivos gerais do sistema e para quem é projetado, a partir da resposta a algumas questões.

Qual é o objetivo a ser alcançado com o protótipo? O objetivo principal é possibilitar a representação espacial de informações relativas a Assistência Social no Estado do Paraná. Busca-se entender a variação espacial de fatores associados à Assistência Social.

A partir deste objetivo geral, são definidos objetivos específicos para o protótipo. A *análise e comparação de padrões espaciais* pretende identificar situações críticas, tendências e pontos de máximo e mínimo em relação aos

diferentes indicadores mapeados; permitir/facilitar a busca de relações entre diferentes indicadores coletados; permitir acesso a informações associadas aos dados espaciais. Um segundo objetivo específico é a *análise espacial e de tendências*, onde deve-se permitir a combinação de dados espaciais. A definição de *métodos de representação* tem como objetivo construir funções a partir do conhecimento dos usuários para permitir o uso de métodos exploratórios com os quais não estão familiarizados. Neste ítem é importante considerar as características dos dados, os métodos para sua representação, bem como o conhecimento dos usuários para quem o sistema está sendo projetado. Finalmente, a *combinação de diferentes informações*, sendo que o ambiente computacional deve possibilitar a inclusão de diferentes tipos de informações para que o entendimento a respeito dos dados e suas inter-relações seja otimizado.

Uma segunda questão a ser respondida está relacionada a como os objetivos propostos serão alcançados. Isto será realizado fornecendo aos usuários um conjunto de funções que permita o acesso e análise dos dados de maneira independente ou combinada. Ou seja, os usuários poderão realizar análises a partir de um único mapa ou por meio da combinação de diferentes informações para gerar uma nova informação, sob a forma de mapa.

A seguir deve-se definir qual deve ser o resultado do trabalho com o protótipo. Espera-se que trabalhando com o protótipo seja possível obter hipóteses mais embasadas sobre a distribuição espacial das informações relativas à Lei Orgânica de Assistência Social. Isso possibilitará que a tomada de decisões na área da Assistência Social seja realizada com base em análises conduzidas a partir das informações apresentadas nas visualizações.

Finalmente, especifica-se quem são os usuários. Para este protótipo, os usuários são pesquisadores que integram o CIPEC (Centro Interdisciplinar de Pesquisa e Consultoria em Políticas Públicas), sendo a Coordenação Geral do Curso de Assistência Social PUC/PR, e tendo como participantes o Promotor de Justiça do Estado do Paraná, uma psicóloga e uma Assistente Social integrantes da equipe técnica do Ministério Público do Paraná.

4.2 NÍVEL OPERACIONAL

Efetuada uma análise baseada em comparações do esboço do protótipo, descrito no Nível Conceitual, com as características dos dados disponíveis, é possível especificar o Nível Operacional.

É importante considerar os tipos de dados analisados em função da forma de coleta e de análise dos mesmos. É importante destacar também que, a partir dos dados coletados inicialmente (26 indicadores), foram gerados 26 mapas. Estes mapas foram analisados pelos usuários, que apontaram outras informações importantes para a construção da base de dados que será utilizada no protótipo.

Os 26 indicadores foram agrupados em 4 grandes grupos, de modo a produzir mapas que permitam identificar o tema geral que está sendo representado. A divisão dos indicadores ficou estabelecida da seguinte maneira: informações relacionadas aos Conselhos Municipais de Assistência Social (12 indicadores); informações relacionadas aos Fundos Municipais de Assistência Social (6 indicadores); informações sobre a Assistência Social (3 indicadores) e; informações Administrativas (5 indicadores).

Cada um dos objetivos propostos no Nível Conceitual são, então, detalhados em termos de operações e funções que serão posteriormente implementadas. No objetivo de *análise e comparação de padrões espaciais*, as operações ficaram assim especificadas: destacar valores máximos e mínimos dos indicadores; realçar regiões; relacionar dados espaciais e de atributos, e; explorar associações entre diferentes indicadores. Para permitir realizar *análises espaciais e de tendências*, deve ser possível combinar diferentes dados espaciais. Com relação aos *métodos de representação*, deverão ser previstas operações que permitam: manipular parâmetros de simbolização dos dados; classificar dados, e; permitir diferentes métodos de representação de dados. Com relação à *combinação de diferentes informações*, prevê-se o acesso a dados não espaciais e o acesso a textos explicativos.

4.3 NÍVEL DE IMPLEMENTAÇÃO

O primeiro passo deste nível consiste em examinar o ambiente de software e hardware disponível. Os objetivos traçados nos níveis conceitual e operacional levam à definição do ambiente de desenvolvimento. Um ponto importante consiste em considerar os objetivos iniciais do projeto:

- a) projetar métodos alternativos para visualização de dados espaciais relacionados à área de Assistência Social;
- b) projetar uma interface customizada para estas funções desenvolvidas;
- c) testar o protótipo com usuários de modo a verificar possíveis alterações a serem efetuadas.

A escolha do ambiente de desenvolvimento foi influenciada por fatores ligados à facilidade de uso, conhecimento a respeito dos softwares, diversidade de funções possíveis de serem implementadas e disponibilidade de recursos de software. Deste modo, optou-se por utilizar a linguagem de programação Visual Basic 6.0, juntamente com o MapObjects 2.0a, desenvolvido pela empresa ESRI. Para o projeto das interfaces será desenvolvido um modleio utilizando diagramas de casos de uso da UML (*Unified Modeling Language*). Um caso de uso modela a funcionalidade do sistema da maneira como o usuário (ator) percebe (Rumbaugh et al, 1999).

Os estilos de interatividade adotados para este protótipo são: preenchimento de formulários, seleção de menus, utilizando botões de opção e botões de seleção, e

interface de manipulação direta. Os tipos de interatividade que estão previstos para implementação são: interação com a representação dos dados (mudança de escala, mudança de símbolos), interação com a dimensão temporal (classificação), interação com os dados (consulta à base de dados, *brushing* e destaque). Com relação ao contexto da interação propõe-se utilizar justaposição de janelas, combinação de níveis de informação e ligações entre diferentes informações. Estes recursos permitirão ao protótipo do Atlas um grau de interatividade elevado.

5. CONCLUSÃO

A pesquisa orientada à visualização cartográfica, especificamente no que diz respeito ao projeto e implementação de funções de interatividade, vem ganhando maior destaque junto a pesquisadores de diferentes áreas. Um dos principais pontos está relacionado à ligação existente entre os tipos possíveis de interatividade e as funções/operações a serem implementadas.

Da análise de diferentes produtos disponíveis, alguns dos quais citados no item 3, percebe-se que os Atlas desenvolvidos para Internet possuem recursos de interatividade limitados, devido ao ambiente de apresentação das informações. Com relação às interfaces, estes Atlas apresentam ícones para escolha das opções, ou seleção de informações por meio de menus. Com relação aos demais tipos de interatividade, sua implementação está sendo realizada em projetos de pesquisa específicos. Neste caso, as interfaces projetadas nem sempre são auto-explicativas e fáceis de usar.

Este trabalho apresentou a proposta dos recursos de interatividade a serem implementados no Atlas Interativo do Estado do Paraná. Um dos pontos críticos no desenvolvimento de um protótipo voltado à visualização cartográfica está a decisão de como serão as interfaces. Uma decisão importante é qual estilo de interação combina com a função a ser implementada. Além disso, não existem regras definidas para escolha do estilo de interação.

O que se percebe na pesquisa para definição dos recursos de interatividade e das interfaces é que não se realizam estudos para avaliar a eficiência das mesmas. Não são discutidas as questões relativas à interatividade necessária em cada interface, levando em consideração as funções e operações que estão sendo implementadas. Deste modo, ao término da primeira versão do protótipo serão realizados testes para avaliar tanto a eficiência das interfaces quanto das funções implementadas. As respostas dos testes orientarão a realização de mudanças necessárias.

6. REFERÊNCIAS

CARTWRIGHT, W., et al. **Geospatial Information Visualization User Interface Issues.** Disponível em:

<<http://www.geovista.psu.edu/sites/icavis/agenda/PDF/Cartwright.pdf>>. Acesso em: 10 out. 2001.

CRAMPTON, J. Interactivity Types in Geographic Visualization. **Cartography and Geographic Information Science**, v. 29, n. 2, 2002, pp. 85-98

FUHRMANN, S.; KUHN, W. Interface design issues for interactive animated maps. In: 19th Internatioanl Cartographic Conference, 1999, Ottawa. **Anais...**Ottawa: ICA, 1999, p. 875-884

HOWARD, D.; MACEACHREN, A. M. Interface design for geographic Visualization: tools for representing reliability. **Cartography and Geographic Information Systems**, vol. 23, n.2, 1996, pp. 59-77

LEITE, J. C. **Design de interfaces de usuário**. Disponível em: <<http://www.dimap.ufrn.br/~jair/ES/c6.html>>. Acesso em: 20 jun. 2002.

LINDHOLM, M.; SARJAKOSKI, T. Designing a visualization user interface. In: MacEachren, A.M.; Taylor, D.R.F. ed. **Visualization in modern cartography**. Grã-Bretanha: Pergamon, 1994. p.167-184.

LUCENA, I. S. I **Interfaces para álgebra de mapas**. São José dos Campos, 1998. Dissertação (Mestrado). INPE. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/teses/iven/cap4.pdf>>. Acesso em 19 jun. 2002.

MACEACHREN, A.M. Visualization in modern cartography: setting the agenda. In: MacEachren, A.M.; Taylor, D.R.F. ed. **Visualization in modern cartography**. Grã-Bretanha: Pergamon, 1994b. p.1-12.

MACEACHREN, A. M. Design and evaluation of a computerized dynamic mapping system interface. **Final Report to the National Center for Health Statistics**. 1998, Penn State University.

MINISTER OF NATURAL RESOURCES. **National Atlas of Canada**. Disponível em: <<http://www.Atlas.gc.ca>>. Acesso em 10 de abr. 2003.

RUMBAUGH, J. et al. **The Unified Modeling Language Reference Manual**. 1.ed. Massachusetts: Addison-Wesley, 1999, 550p.

TAYLOR, D.R.F. Perspectives on visualization and modern cartography. In: MacEachren, A.M.; Taylor, D.R.F. ed. **Visualization in modern cartography**. Grã-Bretanha: Pergamon, 1994. p.333-341.

UNITED STATES DEPARTMENT OF THE INTERIOR. **National Atlas of United States of America**. Disponível em: <<http://www.nationalatlas.gov>>. Acesso em 5 de mar. 2003.

APLICAÇÕES DE GIS E SENSORIAMENTO REMOTO NO ZONEAMENTO AMBIENTAL DE SANTA MARIA, RS.

Anderson Luis Ruhoff¹
Vanessa Almeida Porto²
Rudiney Soares Pereira³

- 1 Universidade Federal de Santa Maria – ruhoff@mail.ufsm.br
- 2 Universidade Federal de Santa Maria – vanessaporto@mail.ufsm.br
- 3 Universidade Federal de Santa Maria – rudiney@smail.ufsm.br

RESUMO

O Zoneamento Ambiental visa produzir subsídios para o Plano de Uso Público através do levantamento de análises ambientais e sócio-econômicas da área em estudo e de seu entorno. Buscou-se dividir a área de estudo em unidades de conservação ambiental, denominadas de Áreas de Preservação Permanente, Áreas de Conservação Permanente, Áreas de Restauração e Áreas de Uso e Ocupação. A área caracteriza-se por ser uma área bastante acidentada e que abriga a zona urbana de Santa Maria. Caracteriza-se por uma ocupação muito intensa, onde as repetidas práticas agrícolas não-conservacionistas provocaram um estado avançado de degradação do solo. Esse fato vem se agravando nos últimos tempos dada a utilização cada vez mais intensa dos recursos naturais, visando uma produção cada vez maior, para suprir o mercado consumidor da zona urbana de Santa Maria e arredores. Visando uma adequada ocupação do solo, utilizou-se as técnicas de Sensoriamento Remoto e de Geoprocessamento para estabelecer o Zoneamento Ambiental. As ações antrópicas provocaram muitas alterações no quadro natural de Santa Maria. Isso vem sendo ocorrendo principalmente através do desmatamento e pela utilização de áreas impróprias para a realização de cultivos agrícolas. As práticas agrícolas não-conservacionistas tornaram o solo mais vulnerável à erosão, empobrecendo-o em consequência do escoamento superficial provocando também alterações na morfologia da paisagem, como os ravinamentos e os cones de dejeção. As interferências antrópicas desordenadas transformam o meio ambiente local, pois observa-se ainda a grande ocorrência de atividades agrícolas, pecuárias e extrativistas manifestando-se em praticamente todas as unidades ambientais. O uso do Geoprocessamento possibilitou realizar o zoneamento ambiental e estipular o uso adequado conforme a Legislação Ambiental em cada área.

Palavras-chave: Geoprocessamento, Zoneamento Ambiental, Análise Espacial

ABSTRACT

The Environmental Zonning aims at produce informations for the Public Use Plan by the hoist of information and social and economic and environmental analyses from the area in study. Be sought he the area of study in environmental units of conservation be divided, named of Permanent Areas of Preservation, Permanent Areas of Conservation, Areas of Restoration and Areas of Use and Occupation. The area characterizes itself by a very intense occupation, where the repeated practices agricultural not conservacionist provoked a state advanced of degradation of the soil. That fact comes being aggravated us last given time the utilization more and more intense of the natural resorts, aiming at an each output bigger time, to supply the market consumer from the urban zone of Saint Maria and outskirts. Aiming at an adequate and rational occupation of him soil, utilized itself the techniques of Remote Sensing and of Geoprocessing to establish the Environmental Zonning. Is able to be detached that the human actions provoked many alterations in Santa Maria. That comes being occurring mainly através of the deforestation and by the improper utilization of areas for the achievement of agriculture. The agricultural practices not conservacionist became soil more more vulnerable to the erosion, and the as a consequence of the superficial draining provoking also alterations in the morphological from the landscape, as the ridges and the cones of dejeccion. The human interferences disorderly transform the local environment as a whole one, therefore observes itself still to big agricultural occurrence of activities, livestock farming and extrativng manifesting themselves in practically everybody the environmental units. The use of the Geoprocessing enabled he carry out the environmental zonning, enabling he stipulate the use adapted according to Environmental Legislation in each area.

Keywords: Geoprocessing; Environmental Zonning, Spatial Analisis

1. INTRODUÇÃO

O Zoneamento Ambiental visa produzir subsídios para o Plano de Uso Público através do levantamento de informações e análises ambientais e sócio-econômicas da área em estudo e de seu entorno. O objetivo principal é, ao final de todo o trabalho, elaborar o Zoneamento Ambiental e o Plano de Manejo da Carta Topográfica de Santa Maria – SE (Folha SH.22 – V – C - IV/1 – SE, código MI – 2965/1 – SE), na escala de 1:25000, elaborada pela Divisão de Serviços Geográficos do Exército Brasileiro. Buscou-se dividir a área de estudo em unidades de conservação ambiental, denominadas de Áreas de Preservação Permanente, Áreas de Conservação Permanente, Áreas de Restauração e Áreas de Uso e Ocupação. As

áreas de Preservação Permanente são designadas como áreas de manutenção de ecossistemas intactos. As Áreas de Conservação Permanente são áreas reservadas ao convívio do Homem e Ecossistema, sem grandes impactos ambientais. As Áreas de Restauração são áreas em que ocorrem conflitos ambientais e que necessitam de auxílio do Poder Público para sua recuperação. Já as Áreas de Uso e Ocupação são áreas sociais destinadas à ocupação humana. As Unidades de Conservação são constituídas legalmente pelo poder público, com objetivos definidos e sob regimes de administração especiais que garantem a aplicação de mecanismos adequados de proteção.

A área em estudo caracteriza-se por uma ocupação muito intensa, onde as repetidas práticas agrícolas não-conservacionistas provocaram um estado avançado de degradação do solo. Esse fato vem se agravando nos últimos tempos dada a utilização cada vez mais intensa dos recursos naturais, visando uma produção cada vez maior, para suprir o mercado consumidor da zona urbana de Santa Maria e arredores. Visando uma adequada e racional ocupação do solo, utilizou-se as técnicas de Sensoriamento Remoto e de Geoprocessamento para estabelecer o Zoneamento Ambiental.

2. O MUNICÍPIO DE SANTA MARIA, RS

1.1. CARACTERIZAÇÃO SOCIOECONÔMICA E AMBIENTAL

Localizada na faixa de transição entre o Planalto Meridional e a Campanha Gaúcha, apresenta dois conjuntos fisiográficos distintos: Rebordo do Planalto e Depressão Central. O Rebordo do Planalto caracteriza-se principalmente por derrames basálticos fissurais, apresentando-se como uma área de solos rasos em elevadas declividades, originalmente coberta por florestas subtropicais de grande porte. A Depressão Central apresenta-se com declividades suaves, solos profundos de origem sedimentar e bem drenada, originalmente coberta por campos e vegetação rasteira, intercalado com vegetação sub-arbustiva.

O município apresenta uma forte ligação com a exploração dos recursos naturais, com atividades agrícolas tanto no rebordo do Planalto quanto na Depressão Central. Nas áreas localizadas no Rebordo do Planalto, a agricultura familiar produz principalmente fumo, batata e milho. A agricultura trouxe como conseqüências o desmatamento das florestas subtropicais, sendo que grande parte da agricultura ocupa áreas com diversas restrições morfoedológicas (solos rasos em altas declividades), não encontrando formas de se modernizar. A Depressão Periférica é explorada com cultivos de arroz, soja e pecuária e caracteriza-se por ser uma área de campo sem restrições ao uso de tecnologias.

Na classificação climática de Köppen, o clima na área de estudo recebe a denominação de Cfa Subtropical Úmido, com invernos frios e verões quentes.

Segundo Barros Sartóri (1979), a área apresenta um clima mesotérmico brando, sem estação seca definida e com índices pluviométricos anuais entre 1500 a 1700 mm. A vegetação da região compreende basicamente por formações florestais – Floresta Subtropical, latifoliada de espécies semi-caducifolias, encontrada no rebordo do planalto, ao longo dos vales, em regiões de grande declividade, compreendendo formações montanas e submontanas; formações campestres – campos cobertos por gramináceas contínuas, entremeadas de subarbustos isolados e formações especiais correspondentes à matas de galeria e vegetação ribeirinha.

3. PROCEDIMENTOS TÉCNICO-OPERACIONAIS E ESTRUTURA METODOLÓGICA

O presente estudo utiliza-se de materiais cartográficos e aplicativos computacionais para elaboração das cartas temáticas. Utilizou-se a Carta Topográfica Folha de Santa Maria –SE SH.22 – V – C - IV/1 – SE (MI – 2965/1 – SE), em escala 1:25000, localizada entre as coordenadas geográficas 53°45' e 53°52'30" de Longitude Oeste e 29°37'30" a 29°45' de Latitude Sul, com a qual elaborou-se a carta de declividades. Com a imagem do satélite Landsat 7 ETM+, órbita-ponto 223.081, datada de 28 de maio de 2000, elaborou-se a carta de uso da terra. E, para a elaboração das cartas temáticas digitais, utilizou-se o Software Spring 3.6.03. (Sistemas de Processamento de Informações Georeferenciadas).

A obtenção da carta clinográfica ocorreu a partir da digitalização das curvas de nível da Carta Topográfica em tela, no aplicativo Spring. A partir da digitalização das curvas de nível, elaborou-se um Modelo Numérico do Terreno (MNT). Conforme Aronoff (1995), um modelo numérico de terreno é uma representação matemática da distribuição espacial de uma determinada característica vinculada a uma superfície real, e sua principal utilização é o armazenamento de dados de altimetria para geração de mapas topográficos digitais. No Spring a criação de um modelo digital é elaborado por equações analíticas e representado por uma rede (grade) de pontos regulares e/ou irregulares (TIN - *Triangular Irregular Network*).

Com a digitalização das curvas de nível, criou-se uma grade triangular irregular para representar a superfície. Na modelagem da superfície por meio de grade irregular triangular, cada polígono que forma uma face do poliedro é um triângulo. Os vértices do triângulo são geralmente os pontos amostrados da superfície. Esta modelagem, considerando as arestas dos triângulos, permite que as informações morfológicas importantes, como as descontinuidades representadas por feições lineares de relevo (cristas) e drenagem (vales), sejam consideradas durante a geração da grade triangular, possibilitando assim, modelar a superfície do terreno preservando as feições geomórfológicas da superfície.

A partir da Grade Irregular TIN, elaborou-se a carta de declividade. A definição dos intervalos de classes ou fatias obedeceu à variação dos valores da grade que se

desejou analisar. As classes de declividade consideradas foram declividades menores que 5%, entre 5 e 12%, entre 12 e 30%, entre 30 e 47% e maiores que 47%, como proposto por De Biasi, 1992.

Para a obtenção da carta de uso da terra, georeferenciou-se todas as bandas da imagem do satélite Landsat 7 ETM+, através de equações polinomiais de 1° e 2° que fazem o vínculo entre as coordenadas da imagem e as coordenadas no sistema de referência, através de pontos de controle passíveis de identificação na imagem, como cruzamento de estradas, confluência de rios, pistas de aeroportos, entre outros pontos homólogos. O erro médio de georeferência das imagens foi de 1,15m, sendo que esse erro é a probabilidade de a imagem variar 1,15m em relação ao ponto verdadeiro. Realizou-se o processo de georeferenciamento das imagens em composição falsa-cor (3/B, 4/G e 5/R). Após o registro das imagens, realizou-se a classificação supervisionada através do classificador Maxver pela coleta de amostras das classes pré-estabelecidas – Floresta, Campos, Zona Urbana, Agricultura, Solos Agrícolas e Lâminas d'água.

Com a digitalização da rede de drenagem, elaborou-se ainda o mapa de distâncias ao longo das drenagens – áreas marginais de 30 metros, como prevê a Legislação Ambiental para cursos d'água com menos de 10 metros de largura.

Elaboradas as cartas temáticas digitais, efetuou-se então o cruzamento das cartas temáticas de uso da terra, declividades e de drenagens (*buffer*). Para tanto se utilizou à álgebra de mapas e operações booleanas para obter os resultados esperados. Conforme Câmara, Souza e Freitas (1996), um programa em LEGAL (Linguagem Espacial-Geográfica baseada em Álgebra) consiste de uma seqüência de operações descritas por sentenças organizadas segundo regras gramaticais, envolvendo operadores, funções e dados espaciais, categorizados segundo o modelo de dados Spring, e representados em planos de informações. Um programa em LEGAL é constituído de uma lista de sentenças que descreve um procedimento, isto é, um conjunto de ações sobre dados espaciais, que faça sentido no contexto de alguma disciplina de Sistemas de Informação Geográfica. Tais sentenças em LEGAL são estruturadas em quatro grupos: I) Declaração de variáveis, II) Instanciações de variáveis, III) Operações de álgebra de mapas, e IV) Controle de comandos.

A Carta de Zoneamento Ambiental foi adaptada da metodologia estabelecida por Rocha (1997), na qual o Zoneamento Ambiental prevê a divisão da área em estudo em Áreas de Preservação Permanente, Áreas de Conservação Permanente, Áreas de Restauração e Áreas de Uso e Ocupação. Na realização do zoneamento ambiental considerou-se ainda a legislação ambiental pertinente, como o Código Florestal Brasileiro (Art. 2°/1965) e o Código Estadual do Meio Ambiente, RS – (Art. 52°, 54°, 120° e 137°/2000) e o uso potencial do solo estabelecido por De Biasi (1992) através das classes de declividade. As áreas foram assim conceituadas – *Áreas de Preservação Permanente*: são designadas como áreas de manutenção de

ecossistemas intactos, como em áreas marginais de 30 metros ao longo das drenagens e em declividades superiores a 47%; *Áreas de Conservação Permanente*: são áreas reservadas ao convívio do Homem e Ecossistema e que podem ser utilizadas apenas com programas de manejo florestal, sem grandes impactos ambientais, - caracterizam-se por florestas e campos em áreas entre declividades de 30 a 47%; *Áreas de Restauração*: são áreas em que ocorrem conflitos ambientais e que necessitam de auxílio do Poder Público para sua recuperação, caracterizadas por atividades antrópicas, como agricultura, pastagens e zonas urbanas em áreas de preservação permanente e áreas de conservação permanente; *Áreas de Uso e Ocupação*: são áreas sociais destinadas à ocupação humana e se localizam em declividades até 30%. Esta classe foi subdividida em áreas com aptidão de uso urbano-industrial e agricultura mecanizada (em declividades de até 12%) e com aptidão de uso urbano e agricultura conservacionista (em declividades entre 12 e 30%).

Com a elaboração da Carta de Declividade e do mapa de distâncias (buffer) obteve-se a Carta de Áreas de Preservação Permanente, que incluiu áreas de 30 metros ao longo das drenagens e declividades superiores a 47%. Essas áreas necessariamente devem estar cobertas por vegetação florestal nativa (florestas), e partindo disto, cruzou-se o mapa de uso da terra com o mapa de preservação para obter-se a quantificação dos conflitos ambientais.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O município de Santa Maria é constituído por áreas bastante planas, cujas declividades encontram-se aproximadamente até 12%, perfazendo 11720,1956 hectares – o que corresponde a aproximadamente 70% do total da área. Os outros 30% dividem-se em declividades de 12 a 30% (representando 18,66% da área) e acima de 30% (representado por 11,34% da área).Essas áreas localizam-se no extremo norte do município, pois esta região constitui o Rebordo do Planalto Meridional Brasileiro. A TABELA 1 apresenta a quantificação absoluta e relativa das classes de declividade.

TABELA 1. QUANTIFICAÇÃO DAS ÁREAS CORRESPONDENTES POR CLASSES DE DECLIVIDADES.

Classes de Declividade	Área (Hectares)	Área relativa
Até 5%	7864,5031	46,83%
Entre 5 e 12%	3855,6925	23,17%
Entre 12 e 30%	3133,3769	18,66%
Entre 30 e 47%	1256,2231	7,48%
Maior que 47%	682,1950	3,86%
Total	16791,9906	100%

A concentração de áreas planas ao sul deve-se principalmente pelo modelamento do relevo pelo Rio Vacacaí. Este apresenta grandes áreas de várzea que são ocupadas com lavouras de arroz e na qual também se encontra assentada grande parte da zona urbana de Santa Maria. Nas áreas de menor declividade e próximas às redes de drenagens geralmente ocorrem problemas de inundação, principalmente pela zona urbana apresentar um pequeno grau de infiltração de águas pluviais.

O levantamento do uso da terra tornou-se aspecto importante na compreensão da organização do espaço geográfico. Com a quantificação e a análise da distribuição espacial dos elementos da paisagem pode-se entender a relação homem-natureza. Os cultivos agrícolas (Agricultura e Solos), bastante intensos, ocupam um total de 3824,4300 hectares (22,77% do total da área) e especialmente localizam-se tanto em áreas propícias quanto em áreas sem aptidão agrícola, como ao longo de rios e drenagens e em declividades superiores a 30%. A zona urbana, que representa 24,17% da área, localiza-se sobre um divisor de águas dos rios Vacacaí e Ibicuí, cada qual deságua em bacias hidrográficas opostas. O crescimento da zona urbana ocorreu basicamente para a parte norte, sobre o Rebordo do Planalto Meridional Brasileiro. As florestas, basicamente ocupam as áreas com declividades superiores a 30%, que se localizam também no Rebordo do Planalto, locais em que a agricultura ocorre em menor intensidade. Os campos nativos, integrantes da Depressão Central Sul-Riograndense e da Campanha Gaúcha localizam-se ao sul da área de estudo e constituem a típica paisagem dos pampas. Observe a TABELA 2, que apresenta a quantificação absoluta e relativa dos elementos da paisagem encontrados em Santa Maria, RS.

TABELA 2. QUANTIFICAÇÃO DAS ÁREAS CORRESPONDENTES POR CLASSES DE USO DA TERRA.

Classes de Uso da Terra	Área (Hectares)	Área relativa
Florestas	4786,0000	28,50%
Campos	4042,1306	24,07%
Zona Urbana	4058,3700	24,16
Agricultura	1975,9300	11,77%
Solos Agrícolas	1848,5000	11,01%
Lâmina d'água	81,0600	0,49%
Total	16791,9906	100%

Com a digitalização da rede de drenagens obteve-se as áreas de preservação ao longo das drenagens – 30 metros como prevê o Código Florestal Brasileiro – e, somando-se este *buffer* às áreas com declividades superiores a 47% obteve-se a Carta de Áreas de Preservação Permanente. A Legislação Ambiental salienta que essas áreas devem estar cobertas com vegetação nativa, ou seja, matas ciliares. As

áreas de 30 metros perfazem um total de 2075,9800 hectares, que corresponde a 12,36% do total da área de estudo, e as declividades superiores a 47% somam 649,1900 hectares – 3,86% da área. Nestas áreas, ficam proibidos por lei qualquer que seja a atividade antrópica, como agricultura e construções urbanas, bem como desmatamento para instalação de pastagens. A TABELA 3 apresenta a quantificação das Áreas de Preservação Permanente e o percentual relativo à área total.

TABELA 3. QUANTIFICAÇÃO DAS ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE.

Áreas de Preservação	Área (Hectares)	Área relativa
Áreas de 30 metros	2075,9800	12,36
Declividades >47%	649,1900	3,86%
Total	2725,1700	16,2200%

Com a Carta de Áreas de Preservação Permanente e com a Carta de Uso da Terra, obteve-se a Carta de Conflitos Ambientais. Através da álgebra de mapas – cruzamento das cartas citadas anteriormente – pode-se estipular a área e os tipos de conflitos ambientais. Qualquer uso da terra diferente de florestas dentro das áreas de preservação foi considerado como conflito ambiental. Ou seja, campos, zona urbana e agricultura nestas áreas são proibidos por lei. A TABELA 4 apresenta a quantificação absoluta e relativa do total da área de estudo. A partir destes dados, pode-se perceber que dos 16791 hectares da Carta Topográfica de Santa Maria, 8,65% do total da área está em inconformidade com a Legislação Ambiental.

TABELA 4. QUANTIFICAÇÃO DAS ÁREAS DE CONFLITOS AMBIENTAIS.

Conflitos Ambientais	Área (Hectares)	Área relativa
Agricultura em 30 metros	250,4400	1,45%
Campos em 30 metros	413,7000	2,46%
Zona Urbana em 30 metros	409,0900	2,43%
Solos Agrícolas em 30 metros	254,5500	1,51%
Agricultura em declividade >47%	55,1200	0,39%
Campos em declividade >47%	39,4800	0,23%
Z. Urbana em declividades >47%	20,8600	0,12%
Solos Agr. em declividades >47%	10,0100	0,06%
Florestas em 30metros	753,2900	4,48%
Florestas em declividade >47%	518,6300	3,09%
Total	2725,1700	16,22%

A Legislação Ambiental visa preservar o meio ambiente da intensa exploração, e conseqüentemente evitar a degradação ambiental. A utilização correta do meio ambiente faz-se necessário. A agricultura em terrenos acidentados fica proibida

principalmente devido a ação dos agentes erosivos. A erosão hídrica laminar é muito intensa em áreas com ausência de estação seca e com altos índices pluviométricos. O desmatamento das encostas pode causar diretamente deslizamentos de terra e assoreamento dos cursos d'água, através da erosão acentuada nas encostas. Por isso há a necessidade de se preservar áreas íngremes, evitando a retirada de cobertura vegetal de grande porte. Os rios e as ravinas estão permanentemente sujeitos aos processos de erosão, pois são áreas de deposição e saturação de materiais que diminuem sua resistência aos processos erosivos – esta é a intenção da legislação ambiental ao estabelecer uma faixa marginal de 30 metros ao longo dos rios, preservando sua vegetação.

Para a recuperação das áreas em conflitos ambientais perante a legislação ambiental, recomenda-se que sejam implantadas florestas energéticas e econômicas em declividades superiores a 47%, dos tipos *Pinus elliotti* e *Pinus taeda*, que além de evitarem a erosão garantem um retorno econômico aos produtores rurais. Para a recuperação de áreas ao longo de rios e drenagens, sugere-se que as espécies sejam nativas e/ou que a vegetação natural recupere-se sozinha, numa tentativa de recuperar e conservar a fauna e flora silvestre, garantindo também a proteção dos recursos hídricos.

A Carta de Zoneamento Ambiental pretendeu atender a alguns itens, estabelecidos por Rocha (1997): I) contribuir para a proteção das florestas subtropicais; II) contribuir para a integração do produtor rural com os recursos naturais; e III) contribuir para a recuperação de áreas degradadas e estabelecimento do potencial de utilização.

Com o estabelecimento do zoneamento pode concluir que, grande parte da área de estudo apresenta-se como de Uso e Ocupação – I, ou seja, apresenta aptidão urbana-industrial e para realização de agricultura mecanizada, correspondendo a aproximadamente 60% do total da área. As áreas com Uso e Ocupação – II, de aptidão urbana e para realização de agricultura conservacionista ocorrem em 16,84% da área. As áreas de Preservação Permanente – cobertas apenas por florestas – nas distâncias de 30 metros e em declividades superiores a 47% apresentam apenas 7,60% do total da área. As Áreas de Conservação, em que a ocupação humana fica restrita e que pode ser utilizada apenas com manejo florestal, apresentam 5,50% do total da área. As áreas utilizadas fora de sua aptidão, com ações humanas (estabelecimento de agricultura, desmatamentos e zona urbana) em áreas de preservação e conservação, sendo classificados como conflitos ambientais e que exigem novas intervenções humanas na busca de sua restauração. A TABELA 5 apresenta as classes de Zoneamento Ambiental e as respectivas áreas absolutas e relativas.

TABELA 5. QUANTIFICAÇÃO DAS ÁREAS DE ZONEAMENTO AMBIENTAL.

Zoneamento Ambiental	Area (Hectares)	Area relativa
Area de Preservação	1277,3106	7,60%
Area de Conservação	921,9400	5,50%
Area de Restauração	1650,5100	9,83%
Area de Uso e Ocupação - 1	10032,5000	59,74%
Area de Uso e Ocupação - 2	2828,6200	16,84%
Lâmina d'água	81,0600	0,49%
Total	16791,9906	100%

De forma objetiva, pode-se destacar que as ações antrópicas provocaram muitas alterações no quadro natural de Santa Maria, pois a área em estudo encontra-se bastante afetada pelo homem e por suas práticas agropecuárias e extrativistas, sendo que aproximadamente 10% da área necessita de recuperação. A realização de agricultura em locais sem aptidão, como em beira de rios e em altas declividades causa diversos impactos ambientais no ecossistema, alterando com isso a distribuição geográfica de plantas, animais e microorganismos e causando um processo de degradação ambiental. Isso vem sendo ocorrendo principalmente através do desmatamento e pela utilização de áreas impróprias para a realização de cultivos agrícolas. As práticas agrícolas indevidas (plantio sem curva de nível nas encostas, utilização de queimadas e desmatamento indiscriminados, entre outros) tornaram o solo mais vulnerável à erosão, empobrecendo-o em consequência do escoamento superficial provocando também alterações na morfologia da paisagem, como os ravinamentos e os cones de dejeção. As interferências antrópicas desordenadas transformam o meio ambiente local como um todo, pois se observa ainda a grande ocorrência de atividades agrícolas, pecuárias e extrativistas manifestando-se em praticamente todas as unidades ambientais.

A intensa exploração do meio ambiente por práticas agrícolas e pelo estabelecimento da zona urbana não respeitou a legislação ambiental vigente, pois áreas ao longo de rios e drenagens foram desmatadas. As matas ciliares resumem-se a pequenos trechos e manchas isoladas. Esse desmatamento deve-se as lavouras de arroz e pomares/hortas cultivados.

As Áreas de Uso e Ocupação I e II constituem-se em aproximadamente 75% do total. Áreas com aptidão urbano-industrial e de agricultura mecanizada compreendem terras cultiváveis com problemas simples de conservação do solo, sem maiores preocupações com erosão. Permite o uso de maquinário pesado, bem como o cultivo agrícola de rotação de culturas ou ainda anual e permanente com pastagens e reflorestamentos. Contudo é necessário que exista cobertura vegetal não deixando o solo exposto à ação dos agentes erosivos, pois se tratando de áreas planas, estas estão sujeitas a alagamentos – o que restringe o estabelecimento de

zonas urbanas – e ravinamentos e formação de voçorocas – que impossibilitam a prática agrícola.

Nas áreas de aptidão urbana e de agricultura conservacionista as terras situadas dentro desta classe permitem cultivos apenas com equipamentos a tração animal ou tratores esteira devido à inclinação das vertentes. Os cultivos agrícolas devem ocorrer com práticas conservacionistas, como terraceamentos, culturas de lavração, e curvas de nível, pois conforme o *Manual de Conservação dos Solos* do Departamento de Agricultura dos EUA (1973) o terreno apresenta-se muito íngreme para cultivos agrícolas e o processo erosivo é bastante intenso. Permite o cultivo de culturas permanentes sem restrições, principalmente com árvores de maior porte ou reflorestamento, podendo ser extraído lucro financeiro com exploração florestal e com pomares. A manutenção de cobertura vegetal do solo em períodos de entressafra da cultura principal com aveia, ervilhaca ou tremoço, auxilia na manutenção do solo e evita a erosão, compactação e perda de fertilidade do solo.

As Áreas de Restauração podem ser recuperadas com florestamentos energéticos, econômicos e ecológicos, como salienta Rocha (1997). Os florestamentos a serem implantados podem ser nas formas de cortinas de abrigo, conservação de nascentes, proteção de açudes, paisagismo e para produção de madeira – com diversos tipos de utilização, desde produção de lenha até celulose – que apresenta ótimo rendimento econômico. A implantação de espécies de pinus, eucalipto e bracatinga visa impedir a devastação final das florestas nativas.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Zoneamento Ambiental tem como pressuposto, o equilíbrio entre desenvolvimento socioeconômico e a preservação ambiental. A recuperação de áreas degradadas é necessária para evitar mudanças no ecossistema local, que pode causar diversos desequilíbrios ambientais. Essas áreas têm prioridade em recuperação, com a implantação de cobertura florestal. A cobertura florestal em áreas de preservação é de fundamental importância na conservação do solo contra agentes erosivos. O crescente interesse pelo turismo rural e pelo ecoturismo possibilita a exploração turística das propriedades rurais, em razão das paisagens de beleza cênica que se encontram principalmente no Rebordo do Planalto.

6. REFERÊNCIAS

ARONOFF, S. **Geographic information systems: a management perspective**. Ottawa : WDL Publications, 1995.

BARROS SARTÓRI, M. G. **O clima de Santa Maria, RS – do rural ao Urbano**. Dissertação de Mestrado (Geografia): Universidade de São Paulo, 1979. 242 p.

CAMARA, G., SOUZA, R.C.M., FREITAS, U.M. **SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling**, Garrido Computers & Graphics, 20: (3) 395-403, May-Jun 1996.

CÓDIGO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Lei nº 11520**, de 04 de Janeiro de 2000. Institui o Código Estadual do Meio Ambiente e dá outras providências. Disponível em: <www.fepam.rs.gov.br> Acesso em Dezembro/2001.

CÓDIGO FLORESTAL BRASILEIRO. **Lei nº 4771**, de 15 de Setembro de 1965. Institui o Código Florestal Brasileiro e dá outras providências. Disponível em: <www.ipef.br/legislacao/codigo.html> Acesso em Março/2002.

De BIASI, M. Carta Clinográfica: Métodos de Representações e sua Confeção. **Revista do Departamento de Geografia (FFLCH – IGEOC-USP)**, USP: nº6, 45-59. 1992.

DEPARTAMENTO DE AGRICULTURA DOS ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA. **Manual de Conservación de suelos**. Washington (EUA): Departamento de Agricultura, 1973.

ROSS, J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. **Revista do Departamento de Geografia (FFLCH – IGEOC/USP)** USP, nº 8. 1994.

ALGEBRA DE MAPAS E APLICAÇÕES DE SENSORIAMENTO REMOTO E GEOPROCESSAMENTO NA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DOS ELEMENTOS DA PAISAGEM EM SANTA MARIA, RS.

Anderson Luis Ruhoff¹
Vanessa Almeida Porto²
Rudiney Soares Pereira³

- 1 Universidade Federal de Santa Maria – ruhoff@mail.ufsm.br
- 2 Universidade Federal de Santa Maria – vanessaporto@mail.ufsm.br
- 3 Universidade Federal de Santa Maria – rudiney@smail.ufsm.br

RESUMO

Os objetivos desta pesquisa científica constituem-se na análise da distribuição espacial dos elementos da paisagem em área pertencente ao município de Santa Maria, RS. Analisou-se como os principais elementos da paisagem (Florestas, Campos, Agricultura, Solos Agrícolas e Zona Urbana – obtidos a partir de imagens do satélite Landsat 7 ETM+) distribuem-se no espaço. Para tanto, foram consideradas variáveis como altimetria, orientação de vertentes e declividade. Com a análise espacial, realizada com Programação em Legal do aplicativo Spring, elaborou-se um plano de ocupação adequado do recurso solo, visando desenvolvimento econômico e preservação ambiental. Os resultados apresentados mostram o potencial das técnicas de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento no mapeamento e análise regional.

Palavras-chave: Geoprocessamento, Análise Ambiental, Paisagem Geográfica, Fragilidade Ambiental

ABSTRACT

The objectives of this scientific research consist in the analysis of the space distribution of the elements of the landscape in pertaining area to the city of Santa Maria, RS. It was analyzed the main elements of the landscape (Forests, Fields, Agriculture, Ground and Urban Zone – gotten from images of the Landsat satellite 7 ETM+) they are distributed in the space. For in such a way, they had been considered changeable as altimetry, orientation of sources and declivity. With the

space analysis, carried through with Programming in Legal of the applicatory Spring, an adequate plan of occupation of the alone resource was elaborated, aiming at economic development and ambient preservation. The presented results show to the potential of the techniques of Remote Sensing and Geoprocessing in the mapping and regional analysis.

Keywords: Geoprocessing, Environmental Analysis, Geographical Landscape, Environmental Fragility

1. INTRODUÇÃO

A organização do espaço, com base nos recursos oferecidos pela Natureza foi deixando marcas ao longo da História da Humanidade. Na colonização de um determinado espaço, o primeiro elemento da natureza a ser agredido é a vegetação, principalmente para a instalação das atividades agrícolas. Entre as conseqüências dessa organização tem-se a acentuação dos processos erosivos, poluição hídrica e desflorestamento.

O objetivo principal desta pesquisa é estudar a distribuição espacial dos elementos que compõem parte da paisagem do município de Santa Maria, RS. Para isso, utilizou-se como área de estudo a Carta Topográfica de Santa Maria – SE (Folha SH.22 – V – C - IV/1 – SE, código MI – 2965/1 – SE), na escala de 1:25000, elaborada pela Divisão de Serviços Geográficos do Exército Brasileiro. Estudou-se a relação existente entre variáveis como Uso da Terra, Declividade, Altimetria e Orientação de Vertentes, e como os elementos da paisagem (Florestas, Campos, Áreas Agrícolas, Solos Expostos e Zona Urbana) distribuem-se espacialmente.

Para se entender a distribuição dos elementos da paisagem, elaborou-se as seguintes cartas temáticas para espacializar os fenômenos estudados: I)Carta de Altimetria, II) Carta de Declividades, III)Carta de Orientação de Vertentes e IV)Carta de Uso da Terra. Para realização destes objetivos, a metodologia fundamentar-se-á na noção de paisagem como unidade territorial perceptível e mapeável. Buscou-se o entendimento da paisagem através da análise da inter-relação *Homem x Natureza* e da dinâmica desse sistema ambiental que funciona e evolui em conjunto.

2. O MUNICÍPIO DE SANTA MARIA, RS

1.1. CARACTERIZAÇÃO SOCIOECONÔMICA E AMBIENTAL

Localizada na faixa de transição entre o Planalto Meridional e a Campanha Gaúcha, apresenta dois conjuntos fisiográficos distintos: Rebordo do Planalto e

Depressão Central. O Rebordo do Planalto caracteriza-se principalmente por derrames basálticos fissurais, apresentando-se como uma área de solos rasos em elevadas declividades, originalmente coberta por florestas subtropicais de grande porte. A Depressão Central apresenta-se com declividades suaves, solos profundos de origem sedimentar e bem drenada, originalmente coberta por campos e vegetação rasteira, intercalado com vegetação sub-arbustiva.

O município apresenta uma forte ligação com a exploração dos recursos naturais, com atividades agrícolas tanto no rebordo do Planalto quanto na Depressão Central. Nas áreas localizadas no Rebordo do Planalto, a agricultura familiar produz principalmente fumo, batata e milho. A agricultura trouxe como conseqüências o desmatamento das florestas subtropicais, sendo que grande parte da agricultura ocupa áreas com diversas restrições morfopedológicas (solos rasos em altas declividades), não encontrando formas de se modernizar. A Depressão Periférica é explorada com cultivos de arroz, soja e pecuária e caracteriza-se por ser uma área de campo sem restrições ao uso de tecnologias.

Na classificação climática de Köppen, o clima na área de estudo recebe a denominação de Cfa Subtropical Úmido, com invernos frios e verões quentes. Segundo Barros Sartóri (1979), a área apresenta um clima mesotérmico brando, sem estação seca definida e com índices pluviométricos anuais entre 1500 a 1700 mm. A vegetação da região compreende basicamente por formações florestais – Floresta Subtropical, latifoliada de espécies semi-caducifolias, encontrada no rebordo do planalto, ao longo dos vales, em regiões de grande declividade, compreendendo formações montanas e submontanas; formações campestres – campos cobertos por gramináceas contínuas, entremeadas de subarbustos isolados e formações especiais correspondentes à matas de galeria e vegetação ribeirinha.

3. PROCEDIMENTOS TÉCNICO-OPERACIONAIS E ESTRUTURA METODOLÓGICA

O presente estudo utiliza-se de materiais cartográficos e aplicativos computacionais para elaboração das cartas temáticas. Utilizou-se a Carta Topográfica Folha de Santa Maria –SE SH.22 – V – C - IV/1 – SE (MI – 2965/1 – SE), em escala 1:25000, localizada entre as coordenadas geográficas 53°45' e 53°52'30'' de Longitude Oeste e 29°37'30'' a 29°45' de Latitude Sul, com a qual elaborou-se as cartas hipsométrica, clinográfica e de orientação de vertentes. Com a imagem do satélite Landsat 7 ETM+, órbita-ponto 223.081, datada de 28 de maio de 2000, elaborou-se a carta de uso da terra. E, para a elaboração das cartas temáticas digitais, utilizou-se o Software Spring 3.6.03. (Sistemas de Processamento de Informações Georeferenciadas).

A obtenção das cartas hipsométrica, clinográfica e de orientação de vertentes ocorreu a partir da digitalização das curvas de nível da Carta Topográfica em tela, no

aplicativo Spring. A partir da digitalização das curvas de nível, elaborou-se um Modelo Numérico do Terreno (MNT). Conforme Aronoff (1995), um modelo numérico de terreno é uma representação matemática da distribuição espacial de uma determinada característica vinculada a uma superfície real, e sua principal utilização é o armazenamento de dados de altimetria para geração de mapas topográficos digitais. No Spring a criação de um modelo digital é elaborado por equações analíticas e representado por uma rede (grade) de pontos regulares e/ou irregulares (TIN - *Triangular Irregular Network*).

Com a digitalização das curvas de nível, criou-se uma grade triangular irregular para representar a superfície. Na modelagem da superfície por meio de grade irregular triangular, cada polígono que forma uma face do poliedro é um triângulo. Os vértices do triângulo são geralmente os pontos amostrados da superfície. Esta modelagem, considerando as arestas dos triângulos, permite que as informações morfológicas importantes, como as descontinuidades representadas por feições lineares de relevo (cristas) e drenagem (vales), sejam consideradas durante a geração da grade triangular, possibilitando assim, modelar a superfície do terreno preservando as feições geomórfológicas da superfície.

A partir da Grade Irregular TIN, elaborou-se as cartas de altimetria, declividade e de orientação de vertentes. Declividade é a inclinação da superfície do terreno em relação ao plano horizontal. Considerando um modelo numérico de terreno de dados altimétricos extraídos de uma carta topográfica e traçando um plano tangente a esta superfície num determinado ponto (P), a declividade em P corresponderá à inclinação deste plano em relação ao plano horizontal. A declividade é a taxa máxima de variação no valor da elevação, pode ser medido em grau (0 a 90°) ou em porcentagem (%) e a orientação é a direção dessa variação medida em graus (0 a 360°). As cartas foram elaboradas a partir do fatiamento da grade Irregular TIN, após o estabelecimento prévio das cotas de altimetria, de orientação de vertentes e de declividades. A definição dos intervalos de cotas ou fatias obedeceu à variação dos valores da grade que se desejou analisar. Uma imagem temática resultante do fatiamento da grade proporciona uma visão pictórica do modelo, ao mesmo tempo em que se tratando de um plano de informação temático, foi utilizado em operações booleanas para o cruzamento de dados temáticos.

As cotas altimétricas foram estabelecidas conforme as altitudes encontradas na área de estudo. Estas se encontraram entre 090, 90-180, 180-270, 270-360, 360-450, 450-540 metros. As classes de declividade consideradas foram declividades menores que 5%, entre 5 e 15%, entre 15 e 30%, entre 30 e 45% e maiores que 45%. Para a orientação de vertentes, estabeleceu-se 8 classes, as quais apresentavam exposição para Leste (exposição de 337,5 a 22,5°), Nordeste (de 22,5 a 67,5°), Norte (de 67,5 a 112,5°), Noroeste (de 112,5 a 157,5°), Oeste (de 157,5 a 202,5°), Sudoeste (de 202,5 a 247,5°), Sul (de 247,5 a 292,5°) e Sudeste (de 292,5 a 337,5°).

Para a obtenção da carta de uso da terra, georeferenciou-se todas as bandas da imagem do satélite Landsat 7 ETM+, através de equações polinomiais de 1° e 2° que fazem o vínculo entre as coordenadas da imagem e as coordenadas no sistema de referência, através de pontos de controle passíveis de identificação na imagem, como cruzamento de estradas, confluência de rios, pistas de aeroportos, entre outros pontos homólogos. O erro médio de georeferência das imagens foi de 1,15m, sendo que esse erro é a probabilidade de a imagem variar 1,15m em relação ao ponto verdadeiro. Realizou-se o processo de georeferenciamento das imagens em composição falsa-cor (3/B, 4/G e 5/R).

Após o registro das imagens, realizou-se a classificação supervisionada através do classificador *Maxver* pela coleta de amostras das classes pré-estabelecidas – Floresta, Campos, Zona Urbana, Agricultura, Solos Agrícolas e Lâminas d'água. O método de classificação *Maxver* associa os pixels às classes amostrais conforme a maior probabilidade de estes pertencerem à classe.

Elaboradas todas as cartas temáticas digitais, que estão no mesmo sistema de coordenadas, efetuou-se então os cruzamentos para analisar a distribuição espacial dos elementos da paisagem: I) Altimetria e Uso da Terra; II) Declividade e Uso da Terra e III) Orientação de vertentes e Uso da Terra.

Estabelecidos os cruzamentos a realizar, utilizou-se à álgebra de mapas e operações booleanas para obter os resultados esperados. Um programa em LEGAL (Linguagem Espacial-Geográfica baseada em Álgebra) consiste de uma seqüência de operações descritas por sentenças organizadas segundo regras gramaticais, envolvendo operadores, funções e dados espaciais, categorizados segundo o modelo de dados Spring, e representados em planos de informações. Um programa em LEGAL é constituído de uma lista de sentenças que descreve um procedimento, isto é, um conjunto de ações sobre dados espaciais, que faça sentido no contexto de alguma disciplina de Sistemas de Informação Geográfica. Tais sentenças em LEGAL são estruturadas em quatro grupos: I) Declaração de variáveis, II) Instanciações de variáveis, III) Operações de álgebra de mapas, e IV) Controle de comandos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Carta Topográfica de Santa Maria – SE (escala de 1:25000) possui uma área de 16791,99 Hectares. A partir da digitalização das curvas de nível elaborou-se as cartas temáticas de hipsometria, orientação de vertentes e declividades. Na TABELA 1 apresentam-se as áreas (em hectares) das cotas altimétricas e o percentual relativo.

TABELA 1. QUANTIFICAÇÃO DAS ÁREAS CORRESPONDENTES POR CLASSES ALTIMÉTRICAS.

Cotas Altimétricas	Área (Hectares)	Área relativa
0 – 90	3937,51	23,45%
90 – 180	8415,02	50,11%
180 – 270	1723,10	10,26%
270 – 360	1389,74	8,27%
360 – 450	1307,83	7,79%
450 – 540	18,79	0,12%
Total	16791,99	100%

Grande parte da área de estudo localiza-se em até 180 metros do nível do mar (representando 73,56% do total). Essa área constitui-se na Depressão Periférica Sul-Riograndense, e originalmente é coberta por vegetação herbácea entremeada de arbustos isolados (Campos nativos – típicos da Campanha Gaúcha), sendo que também ocorrem matas ciliares próximas aos cursos d'água. A partir dos 180 metros de altitude encontra-se o Rebordo do Planalto Meridional Brasileiro. É uma zona de transição entre a Depressão Periférica e o Planalto Meridional em que as características geomorfológicas são de uma região bastante acidentada, com elevada amplitude altimétrica e declividades acentuadas. O Topo do Planalto localiza-se a aproximadamente a 540 metros de altitude. O relevo acidentado foi esculpido basicamente pela erosão dos tributários dos Rios Ibicuí e Vacacaí. Recobrimo o Rebordo do Planalto encontramos florestas subtropicais. Na Carta Topográfica de Santa Maria o Rebordo encontra-se no extremo norte da área de estudo, sendo que por isso predominam altitudes de até 180 metros.

Através da análise da Carta de Orientação de Vertentes, constatou-se que não existe um predomínio de orientação. As vertentes encontram-se basicamente orientadas em todos os sentidos, como se pode perceber na TABELA 2. Ocorre apenas um predomínio de áreas sem orientação (31,71%) principalmente ao sul da Carta em que se encontram as várzeas fluviais do Rio Vacacaí.

TABELA 2. QUANTIFICAÇÃO DAS ÁREAS CORRESPONDENTES POR CLASSES DE ORIENTAÇÃO DE VERTENTES.

Classes de Orientação de vertentes	Área (Hectares)	Área relativa
Leste	1153,88	6,87%
Nordeste	1097,77	6,53%
Norte	1266,98	7,54%
Noroeste	1611,88	9,59%
Oeste	1664,04	9,90%
Sudoeste	1748,57	10,41%

Sul	1570,46	9,35%
Sudeste	1360,56	8,10%
Áreas sem Orientação	5317,85	31,71%
Total	16791,99	100%

Santa Maria é constituído por áreas bastante planas, cujas declividades encontram-se aproximadamente até 15%, perfazendo aproximadamente 70% do total da área. Os outros 30% dividem-se em declividades de 15 a 30% (representando 13,76% da área) e acima de 30% (representado por aproximadamente 12% da área). Essas áreas localizam-se no extremo norte do município, pois esta região constitui o Rebordo do Planalto Meridional Brasileiro. A TABELA 3 apresenta a quantificação absoluta e relativa das classes de declividade. A concentração de áreas planas ao sul deve-se principalmente pelo modelamento do relevo pelo Rio Vacacá. Este apresenta grandes áreas de várzea que são ocupadas com lavouras de arroz e na qual também se encontra assentada grande parte da zona urbana de Santa Maria.

TABELA 3. QUANTIFICAÇÃO DAS ÁREAS CORRESPONDENTES POR CLASSES DE DECLIVIDADES.

Classes de Declividade	Área (Hectares)	Área relativa
Até 5%	7864,50	46,83%
Entre 5 e 15%	4677,91	27,85%
Entre 15 e 30%	2311,15	13,76%
Entre 30 e 45%	1162,33	6,92%
Maior que 45%	776,12	4,64%
Total	16791,99	100%

O levantamento do uso da terra tornou-se aspecto importante na compreensão da organização do espaço geográfico. Com a quantificação e a análise da distribuição espacial dos elementos da paisagem pode-se entender a relação homem-natureza. Os cultivos agrícolas (Agricultura e Solos), bastante intensos, ocupam um total de 3824,4300 hectares (22,77% do total da área) e espacialmente localizam-se tanto em áreas propícias quanto em áreas sem aptidão agrícola, como ao longo de rios e drenagens e em declividades superiores a 30%. A zona urbana, que representa 24,17% da área, localiza-se sobre um divisor de águas dos rios Vacacá e Ibicuí, cada qual deságua em bacias hidrográficas opostas. O crescimento da zona urbana ocorreu basicamente para a parte norte, sobre o Rebordo do Planalto Meridional Brasileiro. As florestas, basicamente ocupam as áreas com declividades superiores a 30%, que se localizam também no Rebordo do Planalto, locais em que a agricultura ocorre em menor intensidade. Os campos nativos, integrantes da Depressão Periférica Sul-Riograndense e da Campanha Gaúcha localizam-se ao sul da área de estudo e constituem a típica paisagem dos pampas. Observe a TABELA 4, que

apresenta a quantificação absoluta e relativa dos elementos da paisagem encontrados em Santa Maria, RS.

TABELA 4. QUANTIFICAÇÃO DAS ÁREAS CORRESPONDENTES POR CLASSES DE USO DA TERRA.

Classes de Uso da Terra	Area (Hectares)	Area relativa
Florestas	4786,00	28,50%
Campos	4042,13	24,07%
Zona Urbana	4058,37	24,16%
Agricultura	1975,93	11,77%
Solos Agrícolas	1848,50	11,01%
Lâmina d'água	81,06	0,49%
Total	16791,99	100%

Analisando-se as formas de relevo e a distribuição dos elementos da paisagem, percebe-se dois compartimentos geomorfológicos bem definidos: I) Depressão Periférica, com altimetrias em torno de 150 metros, coberta principalmente por campos nativos e pela localização da zona urbana do município de Santa Maria; II) Rebordo do Planalto, com altitudes superiores a 180 metros. Através da TABELA 5, pode-se compreender a distribuição dos campos nativos, florestas, agricultura e zona urbana nas diferentes cotas altimétricas. Altitudes de até 180 metros são ocupadas por campos nativos (3518,93 hectares) e pela zona urbana de Santa Maria (3787,43 hectares). A agricultura e os solos preparados para cultivos também ocorrem nesta classe altimétrica, ocupando aproximadamente 631 hectares.

TABELA 5. QUANTIFICAÇÃO DAS ÁREAS DE USO DA TERRA EXPRESSA EM HECTARES POR CLASSE HIPSOMÉTRICA.

	0-90	90-180	180-270	270-360	360-450	450-540
Florestas	536,38	1286,07	999,92	1062,42	888,09	10,47
Campos	1219,22	2299,71	308,15	122,48	92,34	1,24
Agricultura	440,52	973,62	152,35	154,92	4,70	-
Solos Agric.	783,53	950,70	60,21	14,92	34,02	0,82
Z. Urbana	927,38	2860,05	111,91	35,88	136,20	1,62

Outra constatação ocorreu em relação à localização espacial das florestas, que ocupam áreas relativas maiores na medida que aumenta a altitude. Há um predomínio florestal em altitudes superiores a 180 metros. Tal fato explica-se, pois conforme aumentam as altitudes, aumentam também as declividades. Originalmente o Rebordo é coberto por florestas e a ocorrência de campos deve-se pelo desmatamento de áreas florestais para implantação de agricultura, com o posterior

abandono destas, e estabelecendo-se domínios herbáceos (gramíneas). Biomas caracterizados por campos nativos ocorrem apenas na Campanha Gaúcha e em altitudes superiores a 900 metros, como nos Campos de Cima da Serra, no Nordeste do Rio Grande do Sul.

Através do cruzamento da Carta de Orientação de Vertentes e da Carta de Uso da Terra, pode-se analisar a relação entre a distribuição destes elementos, como mostra a TABELA 6. Pode-se constatar que, do total de 4796,50 hectares de florestas, há um predomínio da vegetação orientada para Oeste. Aproximadamente 53% das florestas estão orientadas para Sul-Sudoeste-Oeste-Noroeste. Outros 25% estão orientadas no sentido Leste e outros 22% de florestas não possuem orientação (localizadas em áreas planas). Esse fenômeno pode ser explicado pela ocorrência de chuvas frontais que ocorrem em Santa Maria, pois as chuvas apresentam sentido Oeste-Leste. Na distribuição espacial de campos e agricultura, não existe predomínio de orientação de nenhum elemento. Observa-se que existe apenas uma leve ocorrência de zona urbana orientada para Oeste-Sul, com aproximadamente 30%, sendo que outros 38% localizam-se em áreas planas e o restante divide-se nas demais orientações.

TABELA 6. QUANTIFICAÇÃO DAS ÁREAS E USO DA TERRA EXPRESSA EM HECTARES POR CLASSE DE ORIENTAÇÃO DE VERTENTES.

	Norte	Sul	Leste	Oeste	Nordest	Noroest	Sudeste	Sudoest
Florestas	341,28	512,12	242,16	674,26	242,21	577,70	400,29	756,41
Campos	374,01	342,60	369,92	296,72	321,14	383,44	344,92	286,05
Agricultura	217,56	142,98	163,73	160,56	181,44	210,10	145,22	133,13
S. Agric.	116,77	153,53	102,30	144,59	127,12	119,71	124,70	153,45
Z. Urbana	206,51	422,79	270,16	382,55	209,94	309,49	334,34	402,81

Tratando-se de uma área bastante plana, a Carta Topográfica de Santa Maria recebe praticamente a mesma insolação em todas as vertentes, possibilitando o cultivo agrícola de espécies heliofilas. A agricultura apresenta maiores restrições no Rebordo do Planalto, pois os vales entalhados, com grandes amplitudes altimétricas e elevadas declividades, recebe insolação em apenas um período do dia. Culturas agrícolas que necessitam de muitas horas de insolação por dia podem apresentar pequena produtividade e/ou baixo rendimento.

Com a Carta de Declividades pode-se realizar diversos estudos sobre o meio ambiente, incluindo o planejamento regional, a análise de aptidão agrícola e a potencialidade do solo. A TABELA 7 apresenta a relação existente entre classes de declividade e o uso da terra.

TABELA 7. QUANTIFICAÇÃO DAS ÁREAS DE USO DA TERRA EXPRESSA EM HECTARES POR CLASSE DE DECLIVIDADE.

	0-5%	5-15%	15-30%	30-45%	>45%
Florestas	1314,30	731,29	1262,72	836,82	634,57
Campos	1972,20	1503,36	415,42	102,17	46,84
Agricultura	954,11	523,73	293,37	128,51	67,78
Solos Agric.	1156,56	546,51	104,56	22,77	11,98
Z. Urbana	2422,77	1315,81	250,89	56,20	25,90

De Biasi (1991) salienta que, declividades até 5% não apresentam restrições ao uso e ocupação, apresentando aptidão urbano-industrial e agrícola. Porém Cooke e Doornkamp (1974) frisam que em áreas planas (de até 2% de declividade), o solo apresenta problemas de drenagem, com riscos de inundação para a zona urbana. A área central da zona urbana de Santa Maria não apresenta problemas de inundação, pois localiza-se sobre o divisor de águas dos Rios Ibicuí e Vacacaí. O problema encontra-se nas periferias de Santa Maria, principalmente próximo ao Arroio Cadena, pois aproximadamente 60% da zona urbana encontra-se estabelecido sobre esta classe de declividade. O risco potencial de erosão é muito pequeno, porém áreas próximas aos rios e drenagens devem ser preservadas para evitar o processo de erosão e ravinamento em nascentes e áreas marginais.

Cooke e Doornkamp (*op. cit.*) também salientam que 15% de declividade é o limite para o desenvolvimento urbano-industrial, estabelecendo também o limite para a realização da agricultura mecanizada. A agricultura (cultivos e solos preparados) ocupa 3180,91 hectares, que corresponde a 26% em declividades de até 15%, representando poucos riscos de impactos ambientais. Os problemas ambientais podem ocorrer pela intensa exploração do meio ambiente, pois nas declividades de até 15% encontram-se apenas 2045,49 hectares, ou seja, dos 12536,41 hectares com até 15%, apenas 16% da área encontra-se coberta por florestas. O uso intenso ocorre também com a zona urbana, que ocupa outros 30% da área.

Kansas Geological Survey (1980) *apud* Maciel Filho (1990) comenta que a partir dos 15 de declividade iniciam-se os processos erosivos intensos, e o solo apresenta-se muito íngreme para cultivos agrícolas, tornando-se necessário cuidados especiais para a realização da atividade agrícola, como rotação de culturas, cultivos permanentes e terraceamentos. Entre 15 e 30% existe intensa ocupação por zona urbana, agricultura e solos expostos, com cerca de 650 hectares ocupados, ou seja, aproximadamente 30% do total da área. Acima de 30% de declividade existe a possibilidade de escorregamentos e movimentos de massa, em que o processo erosivo é muito intenso, e acima de 45% de declividade, Kansas Geological Survey (*op. cit.*) as áreas necessitam de preservação permanente, em que é necessária a manutenção da cobertura florestal.

Acima dos 30% de declividade existe um predomínio de vegetação florestal, porém percebe-se que existem ocupações indevidas destas áreas, como agricultura em elevadas declividades e construções urbanas em encostas, representando grandes perigos ambientais, e que podem provocar alterações no ecossistema local. Os problemas ambientais desencadeados no processo de ocupação de áreas sem aptidão de uso – com a retirada da cobertura vegetal para a implantação da agricultura e construções urbanas – são o agravamento dos processos erosivos e o empobrecimento do solo, que acaba inviabilizando a agricultura. O assoreamento dos rios e córregos, como resultado da elevada sedimentação provoca grandes desequilíbrios ambientais nos ecossistemas aquáticos, além de causar enchentes e alagamentos.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a evidenciação dos aspectos físicos do quadro natural e dos aspectos socioeconômicos, definiu-se o espaço sobre o qual o homem atua. As formas de uso da terra e ocupação do solo foram definidas principalmente pela retirada da cobertura vegetal natural para implantações de atividades agrícolas e zonas urbanas. Conclui-se que o espaço geográfico em Santa Maria encontra-se com uma ocupação bastante intensa, com baixa cobertura florestal, principalmente nos arredores da zona urbana, o que acarreta a formação de ilhas de calor sobre o centro da cidade, bem como a ausência de ventos, que eleva a sensação térmica.

Salienta-se também que o uso das aplicações de Geoprocessamento e da Álgebra de mapas proporcionou condições básicas para a realização do diagnóstico ambiental da área, permitindo identificar usos potenciais do solo e conflitos ambientais, sendo de fundamental importância para a elaboração de medidas mitigadoras e compensatórias na recuperação do meio ambiente, causado principalmente pelo uso antrópico inadequado.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARONOFF, S. **Geographic information systems: a management perspective**. Ottawa: WDL Publications, 1995.

BARROS SARTÓRI, M. G. **O clima de Santa Maria, RS – do rural ao Urbano**. Dissertação de Mestrado (Geografia): Universidade de São Paulo, 1979.

CAMARA, G., SOUZA, R.C.M. e FREITAS, U.M. **SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling**, *Garrido Computers & Graphics*, 20: (3) 395-403, May-Jun 1996.

COOKE, R. U. e DOORNKAMP, J. C. **Geomorphology in Environmental management – an introduction**. Oxford: Clarendon, 1974. 413 p.

De BIASI, M. Carta Clinográfica: os métodos de representação e sua confecção. In: **Revista do Departamento de Geografia (FFLCH – IGEOC/USP)**, n° 6. São Paulo: USP, 1992. p. 42-59.

MACIEL FILHO, C. L. **Carta Geotécnica de Santa Maria**. Santa Maria: Imprensa Universitária (UFSM), 1990. 28 p.

ROSS, J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. In: **Revista do Departamento de Geografia (FFLCH – IGEOC/USP)**. São Paulo: USP, n° 8. 1994.

GENERALIZAÇÃO CARTOGRÁFICA: DETERMINAÇÃO DE CONCEITOS E TERMINOLOGIAS

Linda Soraya Issmael¹
Luiz Felipe Ferreira²

1 Instituto Militar de Engenharia – lsoraya@terra.com.br

2 Instituto Militar de Engenharia – felipe@taurus.ime.eb.br

RESUMO

Neste trabalho foram abordados os principais conceitos e terminologias sobre o processo de Generalização Cartográfica. Tal necessidade de formalização conceitual foi gerada em decorrência da e a falta de uma uniformidade e a diversidade de conceitos e termos existentes na Literatura.

O entendimento e a conceituação dos termos Abstração e Generalização Cartográficas tornaram-se importantes, pois não havia uma diferenciação objetiva de definições entre estes processos.

Observou-se que os processos de Abstração e Generalização interagem em uma seqüência de execução para geração da representação cartográfica, cujo ponto de partida cujo ponto de partida é a Realidade, considerada como o mundo real ou um mapa concreto para, a partir daí gerar o mapa mental e, posteriormente, o mapa concreto final. Ainda com base em análises da bibliografia classificou-se a Generalização em Geométrica, Conceitual e Conceito-Geométrica em função de se promover transformações na geometria e/ou na semântica dos objetos.

Considerando a análise do Modelo de MÜLLER (1991, apud MCMMASTER ? SHEA, 1992), extraiu-se os conceitos de Modelos da Realidade, Cartográfico, Primário e Secundário e foram definidos dois tipos de Modelagem ligados aos processos de Abstração e Generalização: a Modelagem Mental, técnica particular e individual, criada intuitivamente e desconhecidamente no cérebro do profissional, e a Modelagem Concreta, que possui procedimentos passíveis de ser formalizados através de regras de construção de modelos.

Para finalizar, definiu-se os termos para os elementos em níveis de abstração diferentes: mundo real (Fenômeno Geográfico), mapa mental (Feição Cartográfica) e mapa concreto (Objeto Cartográfico).

Como pode-se observar o principal objetivo deste trabalho foi formalizar os conceitos e termos apropriados para o universo da Generalização Cartográfica. Esta formalização dos conceitos é considerada importante para a formação do

conhecimento, como VANICEK (1975) observou: “*A chave do conhecimento reside no domínio dos conceitos*”.

Palavras-chave: Generalização Cartográfica; Abstração Cartográfica; Realidade.

ABSTRACT

In this paper the principal concepts and terminologies were approached on the process of Cartographic Generalization. Such need of conceptual formalization was generated due to the lack of an uniformity and the diversity of concepts and we have existent in the Literature.

The understanding of the terms Abstraction and Cartographic Generalization became important, because there was not a differentiation it aims at of definitions among these processes.

It was observed that the processes of Abstraction and Generalization interact in an execution sequence for generation of the cartographic representation, whose starting point is the Reality, considered as the real world or a concrete map for, since then generating the mental map and, later, the final concrete map. Still with base in analyses of the bibliography was classified the Generalization in Geometric, Conceptual and Conceptual-Geometric in function of promoting transformations in the geometry and/or in the semantics of the objects.

Considering the analysis of the Model of MÜLLER (1991, apud MCMASTER (SHEA, 1992), it was extracted the concepts of Models of the Reality, Cartographic, Primary and Secondary and it was also defined two types of Modelling linked to the processes of Abstraction and Generalization: the Mental Modelling, individual technique, created intuitively in the professional's brain, and the Concrete Modelling, that possesses susceptible to procedures to be formalized through rules.

To conclude, it was defined the terms for the elements in levels of different abstraction: real world (Geographical Phenomenon), mental map (Cartographic Feature) and concrete map (Cartographic Object).

As the objective of this paper was to formalize the concepts and we have adapted for the universe of the Generalization. This formalization of the concepts is considered important for the formation of the knowledge, like VANICEK (1975) it observed: “The key of the knowledge resides in the domain of the concepts.”

Word-key: Cartographic Generalization; Cartographic Abstraction; Reality.

1. INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

O Instituto Militar de Engenharia vem, há cerca de 2 (dois) anos, se estruturando para a condução de pesquisas em Generalização Cartográfica automatizada. Uma das vertentes exploradas refere-se à compreensão do processo em si, ou seja, como um indivíduo executa esta tarefa mentalmente tentando detectar seus aspectos subjetivos. A segunda vertente corresponde à modelagem e formalização algorítmica dos operadores e transformações no referido processo. Neste sentido, este trabalho tem por finalidade abordar alguns conceitos sobre generalização, com o objetivo de conceber o processo conceitualmente e determinar uma terminologia única. Além destes, será feita uma análise do processo de Generalização.

2. ABSTRAÇÃO E GENERALIZAÇÃO CARTOGRÁFICAS

Todo mapa é um modelo da realidade terrestre. Neste sentido há necessidade de se reduzir a quantidade de componentes, simplificar relações entre elementos e suas formas de representação. Assim, para criar este modelo é necessário utilizar as técnicas do processo de Generalização Cartográfica.

A definição da Associação Cartográfica Internacional (ACI) (RIEGER & COULSON, 1973 apud VIANNA, 1997), descreve o processo como: “a Generalização Cartográfica consiste na representação selecionada e simplificada de detalhes apropriados a escala e/ou ao propósito do mapa”.

Alguns autores, como DENT (1985), consideram o processo de Generalização Cartográfica como parte do processo de Abstração Cartográfica, definida como uma etapa de concepção e realização de um mapa (VIANNA, 1997). Este autor define a Abstração Cartográfica como parte da atividade de Mapeamento, onde o cartógrafo transforma dados não mapeados em representação gráfica, selecionando e organizando a informação necessária para atender as necessidades do usuário.

DENT (1985) denomina de Projeto Cartográfico (*Map Design*), no contexto do processo de Abstração Cartográfica, todos os planejamentos, avaliações de soluções possíveis e decisões para compor o mapa. Segundo este autor, a Generalização Cartográfica está incluída no estágio de síntese e transformação. Este estágio reflete a parte do Projeto Cartográfico que exige criatividade e inovação, onde a necessidade de cada elemento no mapa é avaliada. Os elementos da Abstração Cartográfica ou as operações de Generalização são tratados neste estágio.

MUERHCKE ? MUERHCKE (1992) desconsideram o termo Generalização Cartográfica como fase de mapeamento e denominam como Abstração Cartográfica a fase de transformação da realidade visualizada pelo cartógrafo em um mapa,

inserida no Processo Cartográfico. Para realizar esta tarefa, é executado um número de operações de Generalização. Ou seja, o processo de Generalização é basicamente operacional, e realizado por meio de operações geométricas e semânticas. Para estes mesmos autores, o processo de Abstração é composto de atividades principais, que são as operações de Generalização, tais como a Simplificação, a Classificação etc. Estas atividades representam e são denominadas também como os princípios fundamentais ou os blocos de construção do método cartográfico. Complementam que diferentes versões do ambiente (diferentes mapas) podem ser produzidas através da manipulação dos princípios da Abstração Cartográfica.

Para ROBINSON et alii (1978), todo mapa, por ser uma forma complexa de comunicação, gerada a partir de objetivos gerais e específicos, deve ser cuidadosamente planejado. Já que todo mapa é uma interpretação do mundo real em escala reduzida e tem seu próprio objetivo, a tarefa para os cartógrafos é generalizar. Nesta tarefa é incluída a manipulação das características geométricas e semânticas dos objetos. Estes autores consideram a existência de uma variedade de modificações que podem e devem ser consideradas como resultado da interpretação do mundo real e abrangem dos processos mecânicos aos exercícios intelectuais. Estas modificações, necessárias à comunicação coletivamente são chamadas de Generalização Cartográfica.

No estudo de ROBINSON et alii (1978), em essência, foram produzidas manipulações para captar os dados do mundo real como representações gráficas. De uma certa forma, o conceito de Abstração Cartográfica, considerado por DENT (1985) e MUERHCKE ? MUERHCKE (1992), está incluído no estudo de ROBINSON et alii (1978) através dos exercícios intelectuais do processo e a Generalização Cartográfica, através dos processos mecânicos, citados pelos autores.

Segundo HOUAISS et alii (2001), no contexto filosófico: “Abstração é uma operação intelectual, compreendida por Aristóteles (383 a. C. – 322 a. C.) e Tomás Aquino (1227 – 1274) como a origem de todo o processo cognitivo, na qual o que é escolhido como objeto de reflexão é isolado de uma série de fatores que comumente lhe estão relacionados com a realidade concreta.”

Concluindo, pode-se considerar a Abstração Cartográfica como o processo intelectual e cognitivo, cujo objetivo é criar versões da realidade sob a forma de modelos, que contém dados de localização, geometria, topologia, temporalidade e semântica.

A realidade é o ponto de partida do processo de Abstração Cartográfica e pode ser o mundo real, ou seja, uma parcela da superfície física da Terra, ou um mapa.

O modelo extraído da realidade - o ponto de chegada - será constituído, em princípio de um mapa mental - resultado cognitivo e dependente da visão de quem abstraiu - e, posteriormente, dependendo do nível de abstração, em um mapa concreto ou final.

A Generalização Cartográfica, segundo ROBINSON et alii (1978), DENT (1985) e MUERHCKE ? MUERHCKE (1992) é um processo operacional, onde são utilizadas ferramentas de manipulação semânticas e geométricas, cujo objetivo é gerar modelos mais abrangentes ou com um enfoque temático diferente, a partir de outros modelos considerados mais completos. Estes autores esclarecem que o processo de Generalização faz parte do processo de Abstração.

Segundo HOUAISS et alii (2001), no contexto psicológico: “Generalização é o ato ou processo pelo qual, após o aprendizado da reação a algum estímulo preciso, surgem não só reações idênticas, mas também reações similares na presença deste estímulo”.

O estímulo citado na definição anterior pode ser compreendido como cada uma das transformações, sejam semânticas e/ou geométricas, que fazem parte do processo de Generalização Cartográfica. Para cada transformação (estímulo) há reações, ou seja, resultados idênticos ou similares em objetos de mesma natureza. É um enfoque de uma ação concreta e modificadora.

Concluindo, pode-se considerar a Generalização Cartográfica como o processo de materialização, de formalização do modelo resultante da Abstração Cartográfica, cujo objetivo é criar representações a partir de qualquer realidade. A condução deste processo pode ser feita de maneira mental ou concreta.

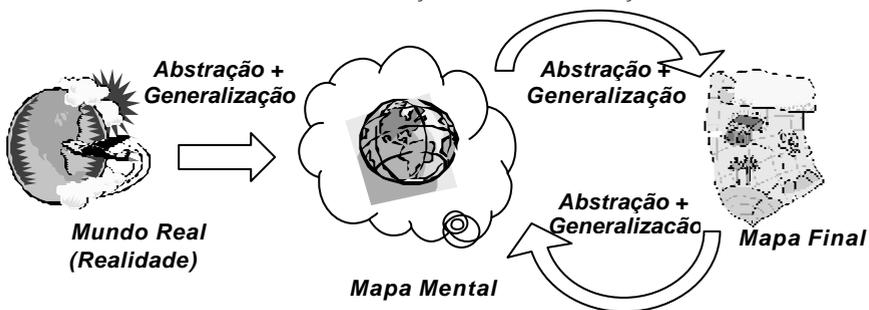
A Generalização é aplicada para atender a um objetivo específico (mudança de tema, escala ou propósito do mapa), e para tal, o processo realiza transformações na geometria e/ou na semântica dos objetos através de operadores pré-estabelecidos.

Logo, como a Generalização é a formalização da Abstração, de forma mental ou concreta, pode-se dizer que mesmo na criação do mapa mental, a Generalização é presente. Ou seja, há, em primeira instância, a observação da realidade e da captura dos objetos de interesse. Nesta captura, ainda que de modo inconsciente, há a associação mental entre cada objeto da realidade e uma forma geométrica, com atributos gráficos associados.

Na forma concreta, a Abstração e a Generalização estão presentes, pois em toda passagem entre níveis de abstração, ou seja, na geração de qualquer modelo, há um processo intelectual de observação da realidade e a formalização deste processo através de representação concreta.

Os processos de Abstração e Generalização podem ser visualizados na Figura 1.

FIGURA 1: OS PROCESSOS DE ABSTRAÇÃO E GENERALIZAÇÃO CARTOGRÁFICAS.



3. OS TIPOS DE GENERALIZAÇÕES

MCMASTER & SHEA (1992) criaram um modelo conceitual, onde modelam os fatores ligados ao processo de Generalização em ambiente digital. Este modelo introduziu uma classificação para as transformações que fazem parte do processo de Generalização em função de manipularem a geometria e/ou a semântica dos objetos. Foram também pesquisados mais cinco autores, que propõem outras classificações apesar de adotarem critérios similares. Os resultados desta pesquisa encontram-se na Tabela 01.

Apesar de JOÃO (1998) só considerar os tipos de dados envolvidos nas transformações e não denominar os tipos de Generalizações, foram analisados os termos adjetivos usados por esta autora para designar e compor os conceitos analisados. MCMASTER & SHEA (1992) definem os tipos de Generalização e os tipos de transformações propriamente ditas. MONMONIER (1991) e MÜLLER (1991) se preocupam em denominar apenas os tipos de Generalização.

De acordo com o que os autores consideram, foram extraídas as terminologias relativas às transformações geométricas e semânticas, e verificados seus significados na língua inglesa em LONGMAN (2001) e na língua portuguesa em HOUAISS et alii (2001).

TABELA 01 - TERMOS UTILIZADOS PELOS AUTORES PARA A CLASSIFICAÇÃO DO PROCESSO DE GENERALIZAÇÃO CARTOGRÁFICA.

<i>Autores</i>	<i>Relativo às Transformações Geométricas</i>	<i>Relativo às Transformações Semânticas</i>	<i>Relativo às Transformações Geométricas e Semânticas</i>
<i>LICHTNER (1979)</i>	<i>Generalização Puramente Geométrica</i>	-	<i>Generalização Conceitual – Geométrica</i>
<i>MONMONIER (1991)</i>	<i>Generalização Geométrica</i>	<i>Generalização de Conteúdo</i>	-
<i>MÜLLER (1991)</i>	<i>Generalização Geométrica</i>	<i>Generalização Conceitual</i>	-
<i>MCMASTER & SHEA (1992)</i>	<i>Generalização Geográfica – Transformações Espaciais</i>	<i>Generalização Estatística – Transformações de Atributo</i>	-
<i>JOÃO (1998)</i>	<i>Dados Espaciais</i>	<i>Dados de Atributo</i>	-
<i>DAVIS (1999)</i>	<i>Transformações Espaciais</i>	<i>Transformações de Atributo</i>	-

Em relação às transformações geométricas, o termo Geométrico é claro e apropriado, pois suas definições, tanto na língua inglesa quanto na portuguesa, mostram que está relacionado à forma dos objetos. Assim, a Generalização que trata de transformações da forma ou da geometria dos objetos será denominada como Generalização Geométrica.

A definição do termo Geográfico está ligada aos fenômenos do mundo real e não à sua representação. O termo Espacial está associado às extensões (dimensões). O espaço engloba todos os corpos do universo. O espaço geográfico é um subconjunto do espaço total e os processos de Abstração e Generalização Cartográficas estão vinculadas à representação simbólica e geométrica do espaço geográfico. Logo, os termos Geográfico e Espacial não alcançam uma clareza maior para a identificação do tipo de Generalização.

Em relação às transformações semânticas, o termo Conceitual torna-se mais adequado que os outros, pois sua definição contém exatamente a noção de propriedades e características de uma classe de seres, objetos ou entidades abstratas, abordando a compreensão, e com isto, demonstrando o que as transformações da semântica dos objetos realizam. O termo Estatístico está mais vinculado com manipulações numéricas. O termo Atributo passa a ideais de que o objeto possui características, deixando dúvidas se as mudanças nestas modificam ou não o conceito do objeto. No termo Conceito está inserida a definição de *atributos* e é mais completo. A definição do termo Conteúdo ficou pouco expressiva para o propósito das transformações, pois não deixa clara a existência de propriedades dos objetos. Logo, a Generalização que trata de transformações da semântica, das propriedades dos objetos será denominada de Generalização Conceitual.

LICHTNER (1979) indica que as transformações podem ser de geometria e de semântica, ao mesmo tempo, no mesmo objeto. Logo, podem existir determinadas transformações que alteram a forma e o conceito de um objeto. Logo, após a análise dos termos, será considerada uma terceira classe de tipo de Generalização: a Generalização Geométrica e Conceitual ou Conceito-Geométrica.

Na Tabela 02 estão formalizados os termos adotados neste trabalho.

TABELA 02 - CLASSIFICAÇÃO QUANTO AO TIPO DE GENERALIZAÇÃO ADOTADA.

Classificação Adotada para Tipos de Generalização		
Relativo às Transformações Geométricas	Relativo às Transformações Semânticas	Relativo às Transformações Geométricas e Semânticas
<i>Generalização Geométrica</i>	<i>Generalização Conceitual</i>	<i>Generalizações Geométrica e Conceitual (Conceito-Geométrica)</i>

4. O PROCESSO DE MODELAGEM DA REALIDADE

As tentativas de modelagem do processo de Generalização são traduzidas como a necessidade de determinar como o processo de Generalização funciona e produzir linhas de raciocínio para direcionar a sua execução. Cada autor visualiza o processo de uma forma diferente, produzindo também modelagens diferentes da realidade. Os níveis das modelagens e de abstração apresentados também são diferentes.

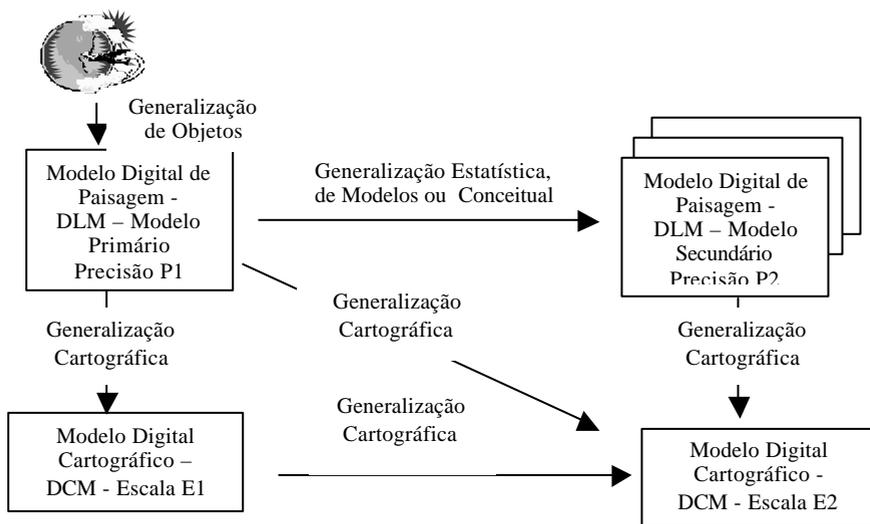
Como tentativa de organizar o processo de Generalização em níveis de abstrações, alguns modelos da realidade foram concebidos por diversos autores.

4.1 O MODELO DE MÜLLER

MÜLLER (1991, apud MCMASTER ? SHEA, 1992) identifica dois tipos de modelos: o Modelo Digital de Paisagem (*Digital Landscape Model - DLM*) e o Modelo Digital Cartográfico (*Digital Cartographic Model - DCM*), que podem ser visualizados na Figura 2.

Deve-se ressaltar que os processos de Abstração e de Generalização são executados a cada passagem entre modelos, seja por mudanças na geometria ou semântica. Em decorrência disto o modelo de MÜLLER, foi adaptado com inserção da Abstração e Generalização Cartográficas nas passagens entre os modelos propostos e desconsiderados os termos Generalização de Objetos, Generalização Estatística, de Modelos ou Conceitual. Ainda, o DLM possui uma definição associada a COMO EXECUTAR, neste caso, digitalmente. Porém, como o essencial para a definição é a desconsideração das formas de execução, DLM será chamado de Modelo da Realidade - MR. O termo Realidade será utilizado, pois é o que representa o mundo real ou um mapa concreto. A partir do mapa mental, que representa o produto resultante da captura da realidade, após os processos de Abstração e Generalização, e está no nível mais alto de abstração, é iniciada a modelagem de acordo com uma metodologia, com o objetivo de gerar o mapa concreto. O mapa mental representa o ponto de partida para geração de documentos cartográficos e, por ser o primeiro modelo, é denominado de Modelo Primário ou Modelo da Realidade (MR).

FIGURA 2: O ESQUEMA DOS MODELOS DIGITAIS (ADAPTADO DE JOÃO, 1998).



Os Modelos da Realidade Primários e Secundários não estão no mesmo nível de abstração, logo os Secundários serão considerados modelos intermediários entre o mapa mental e o mapa final, que fazem parte de alguma metodologia de modelagem.

O Modelo Digital Cartográfico (DCM), de MÜLLER, em analogia ao que foi considerado para o MR, será denominado Modelo Cartográfico – MC. Corresponde ao produto da transformação dos dados contidos em um MR em um modelo final, que será o mapa final, seja analógico ou digital. O MC está no último nível de abstração do processo de geração do mapa.

Quando há a transformação de informações de um mapa para compor outro mapa, o primeiro mapa passa a ser considerado a realidade para o segundo mapa, pois a partir deste serão gerados um mapa mental e outros modelos intermediários para obtenção do segundo mapa. Este fato está materializado na Figura 1, do item 2, através do símbolo de recursividade e no modelo de MÜLLER, na Figura 2, com a transformação MC-MC.

4.2 MODELAGENS DO PROCESSO DE GENERALIZAÇÃO

Para a discretização dos procedimentos da Generalização faz-se necessário escolher a metodologia a ser utilizada, que possui técnica particular de modelagem. Considera-se que para produzir o mapa final, é necessário modelar as características e o comportamento dos objetos envolvidos e, no caso da Generalização, o comportamento é traduzido com a mudança das representações dos objetos.

Para criar modelos de dados, existem várias técnicas. A técnica tradicional, que é utilizada no processo de modelagem de dados semânticos, na área de Análise de Sistemas, que também é utilizada para modelar dados geográficos, é subdividida em três fases: Conceitual, Lógica e a Física. Estas fases não são estanques, se mesclam permitindo acertos (PAGANI, 1995). Pode-se citar como exemplo de técnica de modelagem de dados semânticos: UML (FURLAN, 1998). Alguns modelos semânticos foram estendidos para a incorporação das características geográficas dos objetos, tal como o Modelo OMT-G (BORGES & DAVIS, 2002).

Para geração dos modelos de dados geográficos, alguns autores formalizaram como é subdividido, na visão de cada um, o processo de modelagem em níveis de abstração, tal como GOMES & VELHO (1998), CÂMARA et alii (2001), DAVIS & LAENDER (2000), MULLER et alii (1995).

4.3 MODELAGENS MENTAL E CONCRETA

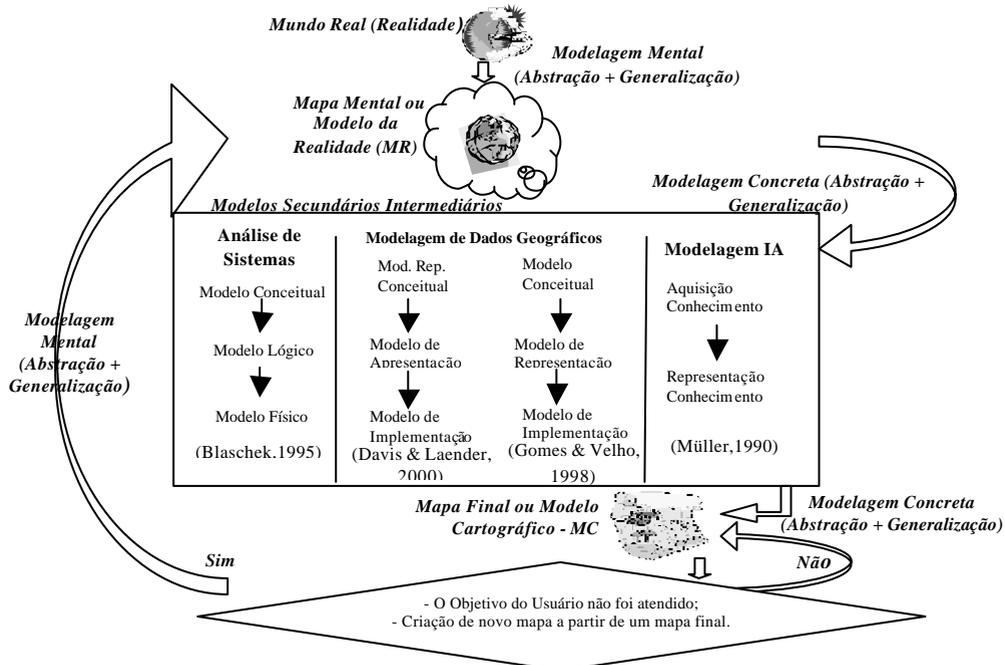
Ao se utilizar as técnicas de modelagem, a partir do mapa mental, são criados vários modelos intermediários que refletem a visão cognitiva do profissional que modela, ou seja, os modelos criados de uma mesma realidade por profissionais diferentes não são os mesmos pois cada pessoa possui a sua visão da realidade,

envolvendo aspectos psicológicos, filosóficos e subjetivos, particulares e pessoais. A visão da realidade reflete também a experiência de cada profissional.

As técnicas de modelagem abordadas são concretas e aplicadas entre os mapas mental e final. Estas técnicas são denominadas de Modelagem Concreta dada a natureza de seus procedimentos e podem ser formalizados através de regras de construção de modelos. Por outro lado, a partir de uma realidade qualquer, ao ser criado o mapa mental, intuitivamente são utilizadas técnicas de modelagem particulares. Parece que, de uma forma desconhecida e ainda não descoberta, cada pessoa, com sua visão cognitiva, utiliza técnicas de Modelagem Mental para criar o seu próprio modelo da realidade ou seu próprio mapa mental. Como a Modelagem Concreta é feita a partir do mapa mental, que reflete a Modelagem Mental, pode-se concluir que a Modelagem Concreta realizada por determinado profissional é um reflexo da sua própria Modelagem Mental, cuja forma de ser desenvolvida é ainda desconhecida, porém de certa forma é materializada através das regras de construção de modelos concretos.

Todos os conceitos abordados relativos à Generalização, à Abstração e à Modelagem Mental e Concreta foram reunidos na Figura 3. Como pode ser visualizado, o processo só executará uma repetição se o mapa final não atender o objetivo do usuário ou se o mapa final servir de base ou Realidade para criação de um novo mapa.

FIGURA 3 - ESQUEMA DOS PROCESSOS DE ABSTRAÇÃO CARTOGRÁFICA, GENERALIZAÇÃO CARTOGRÁFICA, MODELAGEM MENTAL E CONCRETA.



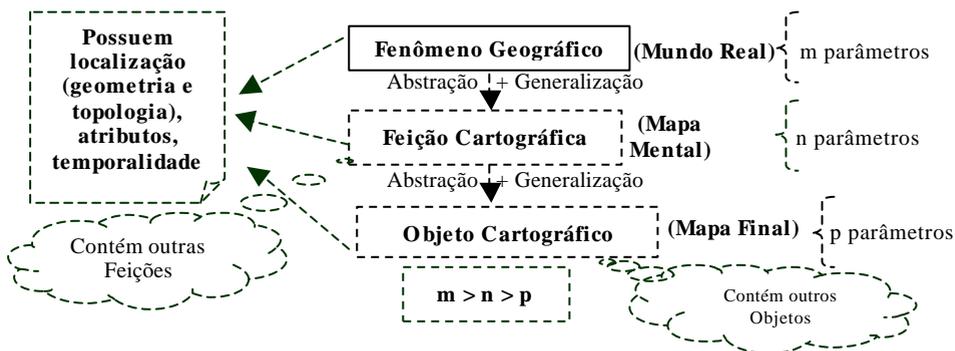
5. FENÔMENO GEOGRÁFICO, FEIÇÃO CARTOGRÁFICA E OBJETO CARTOGRÁFICO

Com o objetivo de não permitir a geração de dúvidas na sua utilização de terminologia, serão formalizados os conceitos dos elementos pertencentes aos seguintes níveis de abstração: realidade, mapa mental e mapa final.

BURROUGH & MCDONELL (1998) atribui ao elemento pertencente ao universo do mundo real a ser modelado e representado no sistema, o termo Fenômeno Geográfico. Logo, os Fenômenos Geográficos são os elementos da superfície terrestre que serão modelados.

Os termos Feição Cartográfica e Objeto Cartográfico são normalmente atribuídos à representação de um elemento, natural ou artificial, da superfície terrestre. O termo Objeto está ligado à técnica de Orientação a Objetos e passou a ser utilizado para referenciar-se a representação de um Fenômeno Geográfico (BURROUGH & MCDONELL, 1998). Como o objetivo é determinar termos para cada um dos principais níveis de abstração, optou-se em atribuir o termo Feição Cartográfica ao elemento do mapa mental ou modelo primário e Objeto Cartográfico como a representação do elemento em um mapa final, pois seu conceito faz uma analogia a uma representação mais próxima do nível mais físico. Um esquema destas definições pode ser visualizado na Figura 4.

FIGURA 4: CONCEITOS DE FENÔMENO GEOGRÁFICO, FEIÇÃO CARTOGRÁFICA E OBJETO CARTOGRÁFICO.



6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho foram abordados os principais conceitos e terminologias envolvidos no processo de Generalização Cartográfica. Tal necessidade de formalização conceitual foi gerada em decorrência da diversidade de conceitos e termos existentes na Literatura e a falta de uma uniformidade em relação a este

assunto por parte dos autores. Com isto, foram diferenciados os conceitos de Abstração e Generalização Cartográfica, foram determinados os tipos de Generalização, os conceitos de Modelos da Realidade, Cartográfico, Primário e Secundário, Modelagem Mental e Concreta e para finalizar, foram definidos os termos para os elementos em níveis de abstração diferentes: Fenômeno Geográfico, Feição Cartográfica e Objeto Cartográfico.

7. REFERÊNCIAS

BORGES, Kátia, DAVIS, Clodoveu. **Modelagem de Dados Geográficos**. Disponível: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/bdados/index.html> [capturado em 21 jun. 2002].

BURROUGH, Peter A., MCDONNELL, Rachael A.. **Principles of Geographical Information Systems**. 1. ed. New York: Oxford University Press, 1998. 333p. il. ISBN 0-19-823366-3.

DAVIS, Clodoveu A.. **Generalização em GIS**. InfoGeo, 1(5): 40-42, 1999.

DAVIS, Clodoveu A., LAENDER, A. H. F. **Extensões ao Modelo OMT-G para Produção de Esquemas Dinâmicos e de Apresentação**. GeoInfo, 2000. Disponível: <http://www.cdavis.hpg.ig.com.br/apresentacoes.html> [capturado em 21 jun. 2002].

DENT, B.D. **Principles of Thematic Map Design**. Addison-Wesley Publishing Company, 1985.

FURLAN, José Davi. **Modelagem de Objetos através da UML – The Unified Modeling Language** 1. ed. São Paulo: Makron Books, 1998. 329p. il. ISBN 85.346.0924-1.

GOMES, J. M., VELHO, L. **Computação Gráfica – Volume I**. Rio de Janeiro: IMPA, 1998. 323p.

HOUAISS, Antônio, VILLAR, Mauro de Salles, FRANCO, Francisco Manoel de Mello. In: **DICIONÁRIO Houaiss da Língua Portuguesa**. Rio de Janeiro: Editora Objetiva Ltda, 2001.

JOÃO, Elsa Maria. **Causes and Consequences of Map Generalisation**. 1.ed. Great Britain: Department of Geography and Environment, London School of Economics, 1998, 266p.

LICHTNER, Werner. **Computer-Assisted Processes of Cartographic Generalization in Topographic Maps**. Geo-Processing, 1979. p.183-199.

LONGMAN DICTIONARY of Contemporary English. 3.ed. England: Pearson Education Limited, 2001.

MCMASTER, Robert B., SHEA, K. Stuart. **Generalization in Digital Cartography**. 1. ed. Washington: Association of American Geographers, 1992. 133p. il. ISBN 8-89291-209-X.

MONMONIER, Mark. **How to Lie with Maps**. 1. ed. Chicago: The University of Chicago, 1991. 176 p. il. ISBN 0-226-53414-6.

MUEHRCKE, Philip C., MUEHRCKE, Juliana O. **Map Use: Reading, Analysis and Interpretation**. 3. ed. Madison: University of Wisconsin, JP Publications, 1992. 631p. il. ISBN 0-9602978-3-9.

MÜLLER, J.C., et al. Generalization: State of the Art and Issues. In: MULLER, J.C., et al. **GIS and Generalization - Methodology and Practice**. London: Taylor & Francis, 1995. p. 3-18.

MÜLLER, J.C. Generalization of Spatial DataBases. In: MAGUIRE, D.J., et al. **Geographical Information Systems - Principles and Applications**. Essex: Longman Scientific & Technical, 1991. p. 457-475.

PAGANI, Nelson. **Projeto de Estrutura de Dados**. 2.ed. Rio de Janeiro: Coordenação Central de Extensão, Curso de Análise de Sistemas, Pontifícia Universidade Católica, 1995, 117p.

ROBINSON, Arthur, SALE, Randall, MORRISON, Joel. **Elements of Cartography**. 4. ed. Madison: University of Wisconsin, 1978. 448p.

VIANNA, Célia Regina Fernandes. **Generalização Cartográfica em Ambiente Digital – Escala 1:250.000 a partir de Dados Cartográficos Digitais na Escala 1:50.000**. 1997. Dissertação de Mestrado, Instituto Militar de Engenharia/ IME, Rio de Janeiro, 1997.

DISPONIBILIZAÇÃO DE INFORMAÇÕES ESPACIAIS EM COMPUTADORES DE MÃO

Mônica Inês dos Santos Pires
Claudia Robbi Sluter
Luiz Augusto Koenig Veiga

Universidade Federal do Paraná
Setor de Ciências da Terra, Departamento de Geomática
Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Curitiba –PR
(monicaisp@terra.com.br, robbi@ufpr.br, kngveiga@geoc.ufpr.br)

RESUMO

A apresentação de informações espaciais em um *palmtop* deve ser simplificada e reestruturada para as propriedades físicas do equipamento. Nesta pesquisa a visualização do mapa temático gerado será desenvolvida para o uso em um *palmtop* modelo HP Jornada 568, com sistema operacional *Pocket PC* e *display* com tamanho de 3,5". A adequação das informações espaciais esta sendo feita aplicando-se a teoria cartográfica destinada à construção de mapas, envolvendo: a) O estudo da generalização cartográfica na determinação das feições que serão visualizadas na tela do *palmtop*; b) O estudo das variações gráficas, ou seja, variáveis visuais e teoria das cores, aplicadas em projeto de símbolos cartográficos pontuais; c) Determinação de símbolos cartográficos pontuais adequados ao tamanho da tela do equipamento; d) Geração de representação temática de um mapa turístico, para manipulação na tela de um computador com área de visualização de 3,5". A metodologia adotada baseou-se em estudos científicos publicados sobre o assunto e utilizou o módulo *Image Editor* do *software Borland Delphi 5* para a geração dos símbolos cartográficos pontuais e o *software ArcView GIS 3.2* para a geração e manipulação da representação temática na tela de um computador PC com monitor de 17" e área de visualização de 3,5". A determinação do conteúdo de informação a ser apresentado no mapa está vinculada às escalas de representação utilizadas na tela do *palmtop*: 1:5.000, 1:10.000 e 1:20.000. A área de estudo adotada foi o centro da cidade de Curitiba onde serão visualizadas as feições geográficas vias, quadras e toponímias e alguns serviços públicos e estabelecimentos comerciais existentes, representados na forma de símbolos pictoriais.

Palavras-chave: Visualização Cartográfica; Generalização Cartográfica; Mapas Digitais em Palmtops.

ABSTRACT

The presentation of spacial information on a palmtop screen must be simplified and reorganized for the physical properties of the equipment. In this research the visualization of thematic maps will be developed for use them in a 3,5" display size palmtop model HP Jornada 568, with operational system Pocket PC. The adequacy of the spacial information is being made by applying the cartographic theory for the construction of maps, concerning: a) The study of cartographic generalization for the decision on how to visualize some features in the palmtop screen; b) The visual investigation of the graphical variations and the theory of colors applied to project of cartographic point symbols, c) Definition of the appropriated cartographic point symbols to the size of the palmtop screen, d) Generation of a thematic representation of a tourist map, for manipulation in the screen of a 3,5" computer. The methodology is based on scientific papers published about cartographic point symbols design and computer screen presentation. The cartographic symbols were generated with Image Editor of the Borland Delphi 5.0 software. The thematic representation of 3.5" computer screen was simulated in a 17" screen by using the ArcView GIS 3.2. The amount of information depicted on each of those 1:5000, 1:10000 and 1:20000 map scales was defined based on the necessary cartographic visualization. The study area is the Curitiba city downtown. The thematic maps represent some public utilities and comercial services, and their base map shows streets and their names, and blocks.

Keywords : Cartographic Visualization; Map Generalization; Palmtop Digital Map.

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento da cartografia digital propiciou uma nova abordagem para a funcionalidade dos mapas denominada de visualização cartográfica. "No processo de visualização, o conhecimento sobre os fenômenos geográficos, suas evoluções e interações, é adquirido a partir da visualização das imagens (mapas) geradas e manipuladas durante o processo de análise" (ROBBI, p.22, 2000).

Nos anos 70 os mapas "ideais" eram considerados ferramentas para comunicar uma informação conhecida. Entretanto, com o crescente desenvolvimento de produtos destinados à visualização de informações espaciais em meio digital, os mapas tem sido usados para finalidades turísticas, monitoramento de veículos e

cadastro de imóveis através da sua publicação na *internet* e mais recentemente em computadores de mão (*palmtops*).

O projeto cartográfico para a visualização de mapas digitais na tela dos *palmtops* deve ser adequado às propriedades físicas do equipamento, capacidades de armazenamento e memória para processamento, pois as bases de dados espaciais disponíveis para *desktops* e na *WEB (WORLD WIDE WEB)* não são compatíveis para esta finalidade. Nesta pesquisa essa adequação está sendo feita a partir da aplicação da teoria cartográfica destinada à construção de mapas, envolvendo: a) O estudo da generalização cartográfica na determinação das feições que serão visualizadas na tela do *palmtop*; b) O estudo das variações gráficas, ou seja, variáveis visuais e teoria das cores, aplicadas em projeto de símbolos cartográficos pontuais; c) Determinação de símbolos cartográficos pontuais adequados ao tamanho da tela do equipamento e d) Geração de representação temática de um mapa turístico, para manipulação na tela de um computador com área de visualização de 3,5”.

A área de estudo adotada foi o centro da cidade de Curitiba, devido à variedade de serviços públicos e estabelecimentos comerciais existentes. Para criação dos símbolos cartográficos pontuais foi utilizado o módulo *Image Editor* do *software Borland Delphi 5* e para a geração e manipulação da representação temática foi utilizado o *software ArcView GIS 3.2*. A determinação do conteúdo de informação a ser apresentado no mapa está vinculada às escalas de representação utilizadas na tela do *palmtop*. Para a área de estudo adotada serão visualizadas as feições geográficas *vias, quadras e toponímias* além dos fenômenos geográficos representados na forma de símbolos pontuais pictoriais nas escalas 1:5.000, 1:10.000 e 1:20.000.

2 GENERALIZAÇÃO CARTOGRÁFICA

“A generalização cartográfica requer um profundo conhecimento da essência e função do mapa. Como consequência, primeiramente temos que nos questionar sobre o propósito do mapa, a extensão do conteúdo de suas informações e também sobre as necessidades do usuário, considerando o poder de expressão de um tipo desejado de mapa para um propósito específico” (Sociedade Suíça de Cartografia, 1979, p.5).

Segundo KEATES (1973, p. 23) “o mapa é uma representação reduzida da superfície topográfica, e todos os outros fenômenos são mostrados em relação a esta base, e a escala do mapa em grande parte determina a importância da informação que pode ser mostrada”. A generalização cartográfica é um processo de abstração de informação que depende da escala, pois determina o espaço para os símbolos no mapa. A seleção das informações importantes em uma base de dados deve resultar em uma representação clara e informativa do fenômeno geográfico. A redução de escala é acompanhada pela redução em detalhe de representação de objetos

individuais, e ao mesmo tempo de exagero ou realce de objetos individuais para torná-los mais distinguíveis (JONES, 1997, p.274).

De acordo com IMHOF (1962) apud Sociedade Suíça de Cartografia (1977, p.12), “a generalização tem como objetivo obter uma maior acuracidade possível de acordo com a escala do mapa, um bom poder de informação geométrica, uma boa caracterização dos elementos e formas, a maior similaridade possível em relação à natureza em formas e cores, clareza e boa legibilidade, simplicidade e explicitação da expressão gráfica e a coordenação de diferentes elementos” .

Segundo KEATES (1989, p. 22), a classificação das feições a serem mostradas dentro de uma área do mapa é afetada pela generalização cartográfica que envolve as operações de seleção, simplificação, omissão, combinação, exagero e deslocamento sobre os produtos cartográficos. Na classificação os objetos são separados em grupos de feições idênticas ou similares, reduzindo a complexidade da imagem cartográfica e organizando a informação mapeada. De acordo com KEATES (1973, p.79) a seleção das feições que formarão o mapa é uma operação complexa, e nesta etapa a classificação das feições é inevitável.

A Seleção, envolve o estágio inicial para a preparação do conteúdo do mapa. Neste processo é feita a determinação dos objetos do mundo real que deverão ser representados no mapa. De acordo com KEATES (1973, p.78) todos os mapas são seletivos no sentido que reportam algumas coisas e outras não. A seleção é determinada inicialmente em função da escala de representação e do propósito do mapa. Como exemplo se tem os mapas com a finalidade de representação da topografia, cujo processo de seleção depende inicialmente: da escala de representação, das características da área coberta e do ponto de vista do usuário, pois mapas topográficos de uma mesma área terão o conteúdo seletivo diferente quando construídos por dois cartógrafos.

A omissão é aplicada quando a redução de escala resulta em símbolos de ponto, linha ou área muito próximos entre si, o que pode reduzir a atenção de outros símbolos mais importantes ao propósito do mapa (JONES, 1997, p.274). Segundo KEATES (1973, p.79) a omissão é uma função da escala, densidade geográfica e importância relativa da feição no mapa. É um processo complexo, pois limita a simbolização das feições ou do fenômeno que foi selecionado e representado. Como exemplo se tem um mapa hidrográfico onde serão representados os rios em função de sua classificação, seu tamanho e grau de isolamento.

A simplificação consiste na redução de detalhes de feições individuais ou de grupos de feições similares. Apesar de poder ser utilizada em todas as escalas de representação, seu efeito é mais pronunciado em escalas pequenas. Segundo KEATES (1982, p.80) a reapresentação do mapa pode diferir das formas aparentes da realidade. Portanto, as feições lineares e os contornos presentes em um mapa podem ser menos complexos do que a realidade que eles representam. Como exemplo se tem a representação de curvas sinuosas em uma estrada, que em escalas

maiores pode ser representada conforme a “realidade” e em escalas menores deve ser simplificada.

A combinação é aplicada em áreas muito próximas em função da redução da escala. Segundo JONES (1997, p. 283) a combinação resulta numa junção de símbolos representativos de feições pertencentes à mesma classe que estão originalmente representadas. Como exemplo se tem grupos de edificações que estão separados em uma escala e quando a escala é reduzida os símbolos se fundem sendo necessário o uso do processo de combinação para manter a legibilidade do mapa.

O exagero usa a simbolização para mostrar a importância de uma determinada feição ou objeto mesmo que ocorra a perda da relação espacial entre o símbolo, e a feição real definida pela escala. De acordo com KEATES (1973, p.31) todos os símbolos devem ter um tamanho mínimo para serem percebidos em forma e dimensão. Portanto, em escalas pequenas o tamanho relativo e a área das feições são exageradas pelos símbolos. Como exemplo se tem as rodovias que em escalas pequenas preserva seu comprimento e a largura sofre o processo de exagero.

O deslocamento é utilizado quando o espaço destinado a um determinado conjunto de feições ou objetos a serem representados não os comporta, sendo necessário adequá-los alterando suas posições relativas para efetuar a representação. De acordo com KEATES (1973, p.31) Quando as feições estão muito próximas umas das outras, influenciando no conteúdo restante do mapa, devem ser ligeiramente deslocadas da posição correta para que permaneçam distinguíveis visualmente.

O mapa possui uma escala inferior ao do fenômeno representado. Através das operações de seleção, simplificação, omissão, combinação, exagero e deslocamento, procura-se organizar as informações a serem visualizadas no mapa para que o propósito de comunicação e análise possam ser atingidos.

3 SÍMBOLOS CARTOGRAFICOS PONTUAIS

A simbolização é a forma de representação de uma imagem reduzida do mundo real através dos símbolos. A definição da simbolização é um processo complexo, envolve o estudo de convenções e padrões que mais se adequem a necessidade do mapa. Os mapas são considerados meios de comunicação, pois tem como objetivo fornecer informação. Se a informação representada é facilmente entendida pelo usuário então, o propósito do mapa foi alcançado. Em um projeto cartográfico deve-se inicialmente definir o propósito do mapa e conseqüentemente quais as características do fenômeno geográfico serão representadas por meio de uma simbologia.

No desenvolvimento da linguagem cartográfica devem-se considerar três aspectos inter-relacionados dos símbolos cartográficos: a dimensão espacial das feições mapeadas, o nível (ou escala) de medida e as primitivas gráficas e suas variações (variáveis visuais) (MACEACHREN, 1994, p.). Baseado em suas

dimensões espaciais os dados ou fenômenos representados são classificados em fenômenos pontuais, lineares e de área (BOS, 1984, p. 18). Os símbolos pontuais são usados para indicar características como a localização e a identidade das feições de pequena extensão territorial em relação à escala do mapa. Os símbolos lineares são usados para a representação de feições que possuem características lineares como: rios, estradas, entre outros. Os símbolos areais são usados para representar feições de extensão areal “considerável” em relação à escala do mapa. Segundo o mesmo autor os símbolos pontuais podem ser classificados em três categorias: pictoriais ou descritivos, geométricos ou abstratos e de letra ou números.

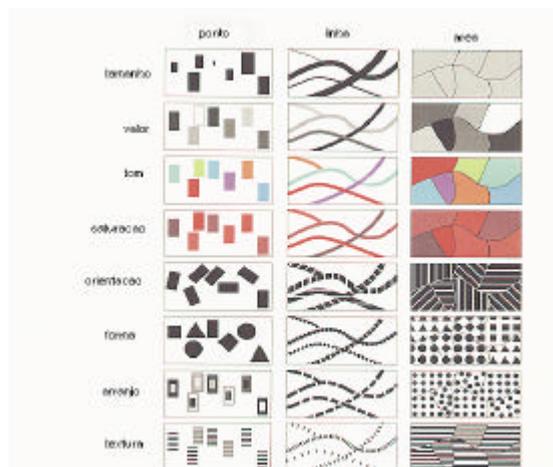
De acordo com PEREIRA (1998, p. 14) apud BOS (1984,p.19) & CAMPBELL (1991, p.205) os símbolos pictoriais representam um caminho simplificado ou estilizado da realidade. Segundo FORREST & CASTNER (1985, p.12) os símbolos pictoriais reproduzem uma característica visual ou de dimensão dos objetos que eles representam, podendo ser relacionados à imagem ou ao conceito. Possuem como vantagem a mínima explicação para sua compreensão, são facilmente lembrados e evitam o uso contínuo da legenda. Entretanto possuem como desvantagem o tamanho, que resulta na ocupação de área maior do mapa e conseqüentemente na perda da acurácia posicional. Exemplos de símbolos pictoriais indicados pela ICA (1995) são: uma cruz indicando um hospital e talheres indicando restaurante (alimentação). Os símbolos geométricos possuem formas regulares como o quadrado, o círculo, o triângulo ou o hexágono. São fáceis de desenhar e não ocupam grandes espaços melhorando a acurácia posicional. Entretanto, seu significado deve ser definido por uma legenda a ser consultada constantemente. Os símbolos de letra são usados na forma de símbolos pontuais inseridos em um símbolo geométrico: um círculo, um quadrado ou um triângulo.

Segundo DENT (1997, p. 74) os níveis (ou escalas) de medidas são classificados como nominal, ordinal, intervalar e de razão. No nível nominal os dados são identificados baseando-se em igualdades e desigualdades e os grupos de informação são denominados. Exemplos de mapas que retratam informações nominais são: mapa dos tipos de solo ou mapa dos tipos de cultura agrícola. No nível ordinal os dados são identificados e ordenados, permitindo uma classificação hierárquica do fenômeno. Exemplo de mapeamento usando o nível de medida ordinal é um mapa de fertilidade do solo mostrando regiões de baixa, média e alta fertilidade. Para o nível intervalar, além da identificação e ordenação, a distância numérica entre as classes é conhecida. As magnitudes não são absolutas, ou seja, qualquer ponto inicial pode ser usado, sendo comum exemplificá-lo através das escalas de temperatura Celsius ou Fahrenheit. Com a escala Celsius, por exemplo, não se pode afirmar que 50 °C é duas vezes mais quente do que 25 °C. Semelhante ao nível de medida intervalar, no nível de medida de razão os eventos são ordenados e as distâncias entre as classes são conhecidas. As medidas são absolutas, pois

possuem o ponto inicial absoluto, permitindo a representação de razões, como a densidade demográfica.

Nos mapas bidimensionais as variáveis visuais são variações gráficas das primitivas gráficas ponto, linha ou área. Segundo ROBBI (2000, p. 32), “a simbologia para um mapa temático deve ser estabelecida de forma que as propriedades perceptivas visuais, dos símbolos pontuais, lineares ou de área, representem as características do nível de medida com o qual o fenômeno geográfico está definido”. BERTIN (1986) identificou as variáveis visuais como: localização no plano, tamanho, cor, valor, textura, orientação e forma e montou um guia com a utilização para as mesmas em mapas temáticos denominado de “Semiologia Gráfica” ou “Semiologia dos Gráficos”. Semiologia é a ciência que estuda os tipos de sinais utilizados num processo de comunicação (TEIXEIRA & FOLETTI apud ARCHELLA, 2003, p.5.). Baseado na tipologia proposta por BERTIN (1986) alguns cartógrafos como MACEACHREN (1994a, p.17) propuseram modificações e ampliações do conjunto de variáveis visuais, que passaram ser classificadas como: tamanho, valor de cor, tom de cor, saturação de cor, orientação, forma, arranjo e textura como mostra a figura 1.

FIGURA 1: VARIÁVEIS VISUAIS DISPONÍVEIS PARA REPRESENTAÇÕES PONTUAIS, LINEARES E DE ÁREA.



FONTE: ADAPTADA DE MACEACHREN (1994A, P.17)

A figura 2 a seguir descreve a utilização das variáveis gráficas em relação aos níveis de medida mostrados na figura 1.

FIGURA 2: VARIÁVEIS GRÁFICAS ADEQUADAS AOS NÍVEIS DE MEDIDA.

	numérico	ordinal	nominal
localização	G	G	G
tamanho	G	G	P
valor de cor	M	G	P
saturação de cor	M	G	P
tom de cor	M ^a	M ^a	G
textura	M	M	G ^b
orientação	M ^c	M ^c	G
arranjo	P	P	M ^d
forma	P	P	G

G = bom M = efeito marginal P = pobre

FONTE: ADAPTADA DE MACEACHREN (1994A, P.17)

Para o nível de medida nominal as variáveis gráficas: localização, tom de cor, textura, orientação e forma são usadas com eficiência. Entretanto variável textura deve ser utilizada somente para a diferenciação de duas ou três categorias. As variáveis visuais: tamanho, valor e saturação de cor não são recomendadas. A variável visual arranjo deve ser analisada para cada primitiva gráfica (ponto, linha e área).

Segundo MACEACHREN et al (1994b, p. 11), "o passo chave para projetar e construir um mapa legível é equiparar o tipo de contraste entre os símbolos, com o tipo de contraste dos objetos ou conceitos representados". A percepção visual dos símbolos esta relacionada com os processos psicofísico e cognitivo da leitura do mapa. De acordo com DECANINI; ROBBI (1989, p.399), os usuários em geral são pouco familiarizados com convenções cartográficas, e para que eles utilizem o mínimo a legenda e leiam de imediato o mapa, a forma gráfica dos símbolos deverá provocar a imaginação e considerar os hábitos dos usuários.

4 PALMTOPS

No início dos anos 80 foram lançados os primeiros computadores portáteis denominados *notebooks*. A partir dos anos 90 os computadores portáteis tornaram-se aparelhos pequenos o suficiente para serem carregados no bolso, sendo classificados como *palmtops* e *handhelds*. Os dois equipamentos são leves e possuem baixo consumo de energia, entretanto, possuem conceitos diferentes. Os *palmtops* são aparelhos mais compactos e não possuem teclado. Para digitar um texto o usuário pode usar o teclado gráfico localizado na parte inferior da tela, escrever com a caneta do equipamento em um espaço reservado na tela ou utilizar um teclado

externo, que possui o tamanho de um teclado normal usado em *desktops*. Os *handhelds* possuem a aparência física de um *notebook*, com o teclado de um lado e a tela do outro.

Segundo BENEVENTO (2001,p. 66-67) as empresas pioneiras no mercado de *palmtops* foram a *USRobotics* que em 1992 fundou a subsidiária *PalmComputing* e em abril de 1996 lançou o organizador pessoal denominado de *PalmPilot 5000*, e a *Apple* que em 1994 lançou o *palm Newton*. Esses equipamentos usavam o sistema operacional *Palm OS* para o gerenciamento das funções e eram utilizados como um gerenciador de informações pessoais, contendo aplicativos como: calculadora, calendário, agenda de números e endereços, contatos, bloco de notas, gravador de som, alto-falante e e-mail.

No ano de 1997 empresas como a Casio, HP, Philips, Sharp entre outras investiram no lançamento dos *handhelds* e a *Microsoft* lançou um sistema operacional em uma versão reduzida do *Windows*, denominada *Windows CE*, desenvolvido especialmente para o equipamento. Inicialmente possuíam versões compactas do *Word*, *Excel* e *Power Point* e permitiam a instalação de programas ou jogos desenvolvidos para eles. Atualmente os *handhelds* são divididos em duas categorias: *Handheld PC* e *Handheld PC Pro*. Os *Handhelds PC* possuem o tamanho de uma fita de vídeo e sua tela geralmente não excede os 17 cm de diagonal. São recomendados para anotações rápidas e leitura e envio de *e-mail*. Podem possuir saída para *VGA*, *slots compact Flash*, *fax modem* interno entre outros. Utilizam o sistema operacional *Windows CE H/PC*. Os *Handhelds PC Pros* são maiores e geralmente possuem telas de mais de 20 cm na diagonal. O hardware é o mesmo dos *Handhelds PC*. Suportam conexões *USB*, *Hard Disks tipo II* e utilizam o sistema operacional *Windows CE H/PC PRO*. Em 19 de abril de 2000 a *Microsoft* lançou a versão *Windows CE 3.0*, denominada de *Pocket PC (PPC)*, para ser utilizado nos *palmtops* da HP, Casio e Compaq.

Atualmente os *palmtops* são classificados em equipamentos baseados em sistemas operacionais *Palm OS 4.1 (Palm Inc)* e *Windows CE / Pocket PC (Microsoft)* e possuem acessórios como fax / modem, acesso à Internet, placas de rede a cabo ou *wireless*, porta infra-vermelha, teclados avulsos, câmeras, GPS, entre outros, além de uma variedade de softwares compatíveis. O sistema operacional *Palm Os 4.1* está disponível nos modelos *Garmim*, *HandHera*, *Handsrping*, *Kyocera*, *Palm*, *Samsung*, *Sony* e *Symbol*. Entretanto a capacidade de memória continua inferior a de um *palmtop* que possui sistema operacional *Windows CE / Pocket PC*. As figuras 3, 4 e 5 mostram alguns modelos de *palmtops* existentes para os sistemas operacionais descritos acima.

FIGURA 3 : PALMTOPS COM SISTEMA OPERACIONAL PALM OS 4.1



GARMIN iQue 3600 (com GPS)



PALM m115

FONTE: PALM BRASIL (2003, internet)

FIGURA 4 : PALMTOPS COM SISTEMA OPERACIONAL POCKET PC 2002



ASUS A 600



CASSIOPEIA EM 500

FONTE: PALM BRASIL (2003, internet)

FIGURA 5 : HANDHELDS COM SISTEMA OPERACIONAL POCKET PC 2002



HP JORNADA 680/690



MOBILON PRO PV 5000

FONTE: PALM BRASIL (2003, internet)

A concorrência existente entre os sistemas operacionais *Palm OS* (*Palm Inc*) e *Windows CE / Pocket PC* (*Microsoft*) tem estimulado o desenvolvimento de novas funcionalidades pelas empresas que os utilizam. A mais recente é a integração de celulares com os palmtops, possibilitando o uso da tecnologia WAP (*Wireless Application Protocol*). A empresa *Samsung* desenvolveu um modelo de *palmtop* (figura 6) que possui tela colorida, contendo todos os programas padrões do *Palm OS*. Possui 8MB de memória e processador de 33 MHz e permite a utilização do telefone e anotações ao mesmo tempo (PALMLAND, 2002).

FIGURA 6: PALMTOP SANSUNG SPH-130 COM TELEFONE CELULAR INTEGRADO PLATAFORMA OS 4.1.



FONTE: HP BRASIL (2002, internet)

4.1 ESPECIFICAÇÃO DO HP JORNADA 568

A visualização dos mapas temáticos gerados esta sendo feita para o uso em um *palmtop* modelo HP Jornada 568 (figura 7) com sistema operacional *Pocket PC* e *display* com tamanho de 3,5". A escolha do equipamento foi devido a sua capacidade de memória e velocidade de processador para trabalhar com aplicativos destinados a visualização cartográfica e SIG, tanto para bases vetoriais como matriciais. Entretanto, é possível utilizar qualquer modelo de *palmtop* para a visualização e manipulação dos mapas temáticos, desde que o mesmo seja estruturado para o tamanho da tela do equipamento, capacidades de armazenamento e memória para processamento.

FIGURA 7: POCKET PC HP JORNADA 568



FONTE: HP BRASIL (2002, internet)

A Tabela a seguir contem as especificações do equipamento *pocket PC HP* jornada 568.

TABELA 1: ESPECIFICAÇÃO DO POCKET PC

Processador	- 206 MHz 32-bit StrongARM
Memória	- 32MBRAM (jornada565) - 64MBRAM (jornada568) - 32MBFlashROM

	- memória data bus 103 MHz
Tela	- 3,5 polegadas - TFT Refletiva colorida com 240x320 pixels - Mais de 16 bits (65,536 cores)
Tamanho	- 132x76.5x17.2mm - 173g com bateria Standard

FONTE: ADAPTADA DO SITE HP (2002)

5 METODOLOGIA

Segundo a ICA (1973) apud MULLER (1989, p.200) “a generalização é a seleção simplificada de detalhes apropriados à escala e o propósito de um mapa”. Para a aplicação dos conceitos de generalização cartográfica foi utilizado o *software ArcViewGIS 3.2*. A determinação do conteúdo de informação a ser apresentado no mapa temático está vinculada às escalas de representação utilizadas na tela do *palmtop*. Para a área adotada serão visualizadas as feições geográficas *vias*, *quadras* e *toponímia* nas escalas: 1: 5.000, 1: 10.000 e 1: 20.000. Para a escala 1:5.000 a base cartográfica apresenta as feições geográficas: *vias*, *quadras* e *toponímia* e os serviços públicos e estabelecimentos comerciais foram representados mantendo o referencial espacial. Na escala 1:10.000 foi realizada a generalização geométrica de bancos, biblioteca, bares, igrejas, museus, praças, postos de combustível, pontos de taxi, restaurantes, shoppings, terminais de ônibus e da Universidade Federal do Paraná (UFPR) e das *vias* que em função de sua classificação (coletoras e locais) foram hierarquizadas considerando a diferença de largura: 30 metros, 20 metros e inferior a 20 metros. A redução da escala dificultou a visualização das *toponímias* contidas no interior das *vias* inferiores a 20 metros, sendo estas eliminadas. As *vias* restantes (20 e 30 m) foram deslocadas, aumentando o espaço para as *toponímias* e para os símbolos pictoriais que se aglomeraram nesse processo. A aglomeração dos símbolos foi resolvida aplicando-se o processo de combinação. A escala 1:20.000 é usada para a identificação da região central de Curitiba, pois estão representadas as *vias* coletoras e as *toponímias*.

Os mapas são meio de comunicação, e os símbolos são importantes elementos característicos dos mapas sem os quais nada se compreende. O processo de comunicação cartográfica é a consideração fundamental para a determinação da simbologia adequada para o uso na tela do *palmtop*. Para a geração dos símbolos cartográficos foi utilizado o módulo *Image Editor* do *software Borland Delphi 5*, aplicando-se o conceito de variáveis visuais: tamanho, forma e tom de cor descritas por MACEACHREN (1997a, p. 17). Alguns autores desenvolveram estudos sobre o uso de símbolos pictoriais em mapas temáticos turísticos. Segundo os mesmos autores entre as classes de símbolos pontuais existentes os pictoriais são mais indicados para o mapeamento turístico, pois utilizam semelhanças com o objeto real

que representam, facilitando a comunicação com o usuário que deverá usar a legenda apenas para confirmar o resultado de sua codificação (PEREIRA, 1998, p.21).

Considerando a escala adotada, a capacidade associativa que o homem possui, e baseado nos testes realizados para projetos de símbolos cartográficos de mapas turísticos com visualização em monitor de computador, desenvolvidos por FILIPPAKOPOULOU & NAKOS (1995), MORRISON & FORREST (1995) FORREST & CASTNER (1985), BLOCK (1987) e PEREIRA (1998, P.42) foram criados símbolos pictoriais nos tamanhos: 14x14, 16x16 e 18x18 *pixels* em um monitor de 17 *polegadas*. Os símbolos de 16x16 *pixels* mantiveram a variação gráfica dentro das limitações de percepção da dimensão da tela do *palmtop*, que é de 3,5 *polegadas*. Os símbolos pictográficos foram criados baseados em convenções existentes como: a ICA- *International Cartographic Association*, ISO- *International Standart Organization*, e BTA – *British Tourist Authority*. Visando atender os objetivos propostos para a realização do trabalho e considerando as escalas utilizadas para a geração de mapas temáticos, os símbolos criados foram inseridos na base cartográfica digital gerada no *software ArcViewGIS 3.2*.

ARLETH (1999) apud ROBBI (2002, p.33) realizou experimentos para o uso e definição das cores em mapas e demonstrou que diferentes definições de cores conseqüentes dos tamanhos dos *pixmap*s (8 ou 16 bits) podem resultar em mapas totalmente diferentes, comprometendo a representação e visualização do fenômeno. O uso adequado de cores nos mapas requer pesquisas voltadas a percepção de cores para a tela dos *palmtops*.

O uso das cores em um mapa deve ser feito de forma harmoniosa, evitando combinações que produzam efeitos desagradáveis. Portanto, foram aplicados alguns testes em relação ao tom de cor para as *quadras*, as *vias* e *toponímias* com os *símbolos pictoriais* em tom de cor preto. O contraste mais visível resultou do uso de símbolos pictoriais de 16x16 *pixels*, inseridos na base cartográfica em tons de cores laranja e amarelo, com alta luminosidade, para *quadras* e *vias* respectivamente e as *toponímias* em preto.

A partir do mapa temático gerado foram aplicados testes em alunos do primeiro ano de Engenharia Cartográfica. A aplicação dos mesmos foi realizada utilizando o *software ArcView GIS 3.2* com a tela dimensionada para o tamanho do visor do *palmtop*. O primeiro teste teve como objetivo verificar a eficiência dos símbolos criados: avaliar se a mensagem decodificada pelo usuário corresponde a mensagem fixada pelo criador do símbolo. Os alunos visualizaram os 13 símbolos criados, cronometrando o tempo de identificação e anotando qual o fenômeno geográfico era representado em cada símbolo. Em seguida cronometraram o tempo de reconhecimento do significado dado aos símbolos. O segundo teste teve como objetivo o reconhecimento dos símbolos pictoriais evitando o uso da legenda. Inicialmente foi avaliado o tempo gasto para o reconhecimento do significado dado

aos símbolo e a seguir foi feita a identificação e manipulação dos mesmos no contexto do mapa.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A apresentação de mapas em *palmtops* exige diferentes soluções das encontradas para computadores *PC's*, envolvendo a aplicação da generalização cartográfica para a obtenção de uma imagem legível e o estudo do projeto de símbolos pontuais com a determinação das variáveis visuais apropriadas para representações pontuais, lineares e de área, viabilizando a consulta e atendendo as necessidades do usuário.

7 REFERÊNCIAS

ARCHELA, R. S. Correntes da cartografia teórica e seus reflexos na pesquisa brasileira. Artigo: Universidade Estadual de Londrina. 2003, p.1-11.

ARLETH, M. Problems in screen map design. In: Congresso da Associação Cartográfica Internacional – ICA, 19., Ottawa, Canadá, Aug. 1999. **Anais**. Ottawa: Canadian Institute of Geomatics, 1999, p. 849-857.

BENEVENTO, A. Computadores de Bolso e Geotecnologia. *Revista InfoGeo*, n. 22, p. 66-72, jan./fev. 2002.

BERTIN, Jacques. A neográfica e o tratamento gráfico da informação. Curitiba: UFPR. 1986, 273 p.

BLOCK, C. Testing symbols on a Dutch tourist map, scale 1:50.000. *ITC Journal*. 1987, p.67-61.

BOS, E. S. Cartographic symbol design. Lecture-notes. ITC.1984, 85p.

CAMPBELL, J. Introductory cartography. 2.ed. University of Wisconsin-Parkside. 1991, 315p.

DECANINI, M.; ROBBI, C. Projeto Cartográfico para mapas turísticos de parques: folder do núcleo Santana. In: XIV CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA. Anais Gramado, 1989, 379-406p.

DENT, B.D. Principles of thematic map design. Reading, MS: Addison-Wesley, 5th ed. 1999. p.288-308.

FORREST D.; CASTNER, H.W. The design and perception of symbol for tourist maps. *The Carographic Journal*. Vol.22, 1985. 22-30p.

JONES, C.B. *Geographical Information Systems and Computer Cartography*. 1.ed. New York, Longman, 1997, 319p.

KEATES, J.S. *Cartographic design and production*. Harlow, Grã-Bretanha: Longman, 1973, 240p.

MACEACHREN, A.M. **Some truth with maps: a primer on symbolization & design**. Washington, D.C.: Association of American Geographers, 1994a, 129p.

MACEACHREN, A.M. Visualization in modern cartography: setting the agenda. In: MacEachren, A.M.; Taylor, D.R.F. ed. **Visualization in modern cartography**. Grã-Bretanha: Pergamon, 1994b, p.1-12.

MORRISON, C. FORREST, D. A study of point symbol design for computer based large scale tourist mapping. *The Carographic Journal*. Vol.32, 1995, 126-136p.

PEREIRA, A.C.F. Aplicação do programa spring (inpe) no mapeamento de informações turísticas – o caso do município de são sebastião, litoral norte do estado de são paulo. Dissertação: Curso de Pós Graduação em Ciências Geodésicas, Universidade Federal do Paraná, 1998. 123p.

ROBBI, C. Sistema para visualização de informações cartográficas para planejamento urbano. Tese de Doutorado em Computação Aplicada. São José dos Campos: INPE, 2000.369p.

SSC – SWISS SOCIETY OF CARTOGRAPHY. *Cartographic Generalization – Topographic maps*. Swiss. 1997, 61p.

8 AGRADECIMENTOS

Para a realização deste trabalho conta-se com a orientação da Prof^ª Dr^ª Claudia Robbi Sluter e do Prof. Dr. Luis Augusto Koenig Veiga, além do suporte e cooperação das seguintes instituições: A Universidade Federal do Paraná (UFPR) através do curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas (CPGCG) colocar à disposição seus equipamentos, laboratórios e instalações;

Ao conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq – Brasil pela disponibilização de uma bolsa de estudos para auxílio financeiro.

MODELAGEM DE UM MAPA DINÂMICO DE UM SISTEMA DE NAVEGAÇÃO TERRESTRE

Edmur Azevedo Pugliesi¹

Nilton Nobuhiro Imai²

Júlio Kiyoshi Hasegawa³

- 1 Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas da Faculdade de Ciências e Tecnologia / Universidade Estadual Paulista - Departamento de Cartografia – edmur.pugliesi@prudente.unesp.br
- 2 Universidade Estadual Paulista – nnimai@prudente.unesp.br
- 3 Universidade Estadual Paulista – hasegawa@prudente.unesp.br

RESUMO

Este trabalho apresenta os resultados da modelagem de um sistema destinado à representação, em tempo real, da trajetória de um veículo em movimento ao longo de rodovias, bem como de informações que possam auxiliar nos processos de tomada de decisões realizados numa viagem. Este projeto foi desenvolvido no contexto de um projeto de pesquisa do Programa de Pós Graduação em Ciências Cartográficas, cuja meta é desenvolver e aprimorar um sistema de navegação terrestre. Vários aspectos de um sistema de navegação terrestre podem ser tratados a fim de aprimorá-lo, sendo a visualização de um fenômeno dinâmico (apresentado em dispositivo de dimensões pequenas e restrições de atenção ao usuário) um dos desafios relevantes desse modelo de sistema. A visualização da trajetória de um veículo em movimento deve proporcionar, ao usuário, a possibilidade de reconhecer o contexto territorial no qual se encontra e avaliar a situação da viagem. Isso implica na necessidade de disponibilizar um conjunto de informações numa representação cartográfica dinâmica, já que o veículo e o mapa se movimentam na tela do computador. Essa representação cartográfica será denominada de mapa dinâmico. A complexidade desse tipo de trabalho decorre da necessidade de especificar tanto o projeto cartográfico de um mapa dinâmico quanto o projeto do sistema. O presente artigo apresenta a especificação do sistema (aplicativo) que permite a visualização do mapa dinâmico. Além disso, decidiu-se adotar a abordagem orientada ao objeto apresentando as visões estática, dinâmica e funcional de forma que as classes de objetos, que constituem a visão estática do sistema, devam ser especificadas e documentadas para que os resultados possam ser aprimorados no futuro. Os resultados compreendem os documentos de *especificação básica do sistema* e de *modelagem do sistema*, para o mapa dinâmico.

Palavras-chave: Mapa Dinâmico, Modelagem de Sistema Orientada a Objeto, Sistema de Navegação Terrestre.

ABSTRACT

This work show the results of modeling of a system that represents for representation, in real time, the trajectory of a vehicle in motion along highways, as well as, informations that might help the drivers in the processes of decisions during a travel. This project was developed in a research project of the Posgraduate Program in Cartographic Sciences, wich aim is development and improvement a traveller information system. Several aspects of a traveller information system might be improve, being the visualization of a dynamic phenomenon (showed in display with limiteds dimension and restricts at traveller's attention) a great challenge of that system model. The visualization of the trajectory of a vehicle in motion must provide, for the traveller, the possibility to recognize the territory's context and evaluate the travel. From this is necessary to dispose a information set in the dynamic cartographic representation, because both vehicle and map are in motion in the computer diplay. This cartographic representation will be denominated dynamic map, because the theme take up a dynamic model of a travel in automobile. The complexity of this work originate from need to especificify both cartographic project and system project for a dynamic map. This paper show the system especification to visualiza the dynamic map. Besides, decided to use object oriented approach using views static, dynamic and functional view possibility than object classes of the system's static view need to be specified and documented to improve the results in the future. Were prepared: *system's basic requirement* and *system modelling*, for the dynamic map.

Keywords: Dinamic Map, Object Oriented System Modeling, Automobile Navigation System.

1. INTRODUÇÃO

Na FCT / Unesp o início do desenvolvimento de um sistema de navegação terrestre ocorreu com o protótipo de HASEGAWA *et al.* (1999) utilizando C++ Builder. No ano de 2002 os trabalhos passaram a ser realizado em Visual Basic e MapObjects. A partir de então, PUGLIESI (2002) aprimorou esse sistema, acrescentando novas funcionalidades e realizando a sua documentação, apresentada parcialmente neste trabalho.

2. SISTEMA DE NAVEGAÇÃO TERRESTRE

Nos últimos anos, foram desenvolvidos, comercialmente, os primeiros sistemas de localização e navegação para veículos os quais substituem com vantagem os mapas convencionais. Essa nova técnica é composta basicamente de um receptor *GPS* acoplado a um computador no painel de um veículo.

De acordo com MORITA (1993), uma das vantagens dos sistemas de navegação é que ajudam o usuário a determinar a sua próxima ação e, através de processos automatizados ajudam o motorista na tomada de decisões. A dinâmica de um sistema dessa natureza transforma a informação de mapa para uma forma de representação visual ou oral. Assim, o mapa não é um instrumento estático, pois o usuário extrai informações ou recebe instruções necessárias. Uma observação feita por MORITA (1993) é a necessidade de se conhecer, além da espécie de informação, também o momento em que ela é necessária.

Ainda, MORITA (1993) entende que a necessidade de sistema de navegação traz uma nova situação no uso de mapas, porque eles são utilizados sob condições interativas e dinâmicas incluindo a mudança de assunto, mudança de escala, rotação de mapa, descoberta de caminhos, notação de informações adicionais, dando instruções para a próxima ação em “tempo real”. Enfim, essa nova situação de uso de mapas demanda não somente o desenvolvimento da cartografia, mas também o desenvolvimento de teoria básica envolvendo relações com ergonomia, psicologia, ciência cognitiva, lingüística, semiótica e etnologia. Isso irá colaborar para o estímulo da construção de mais teorias de mapeamento.

3. MODELAGEM DE SISTEMA E DE DADO GEOGRÁFICO

A fase de modelagem define *o que* o sistema irá fazer. Nessa fase toda a concentração está voltada à compreensão do *domínio do problema*. Na intenção de resolver problemas como esses, este trabalho propõe o uso de uma técnica particular para o desenvolvimento de software, a *metodologia orientada a objetos*, diferente do enfoque tradicional, *baseada em funções*.

Foram analisadas as principais características, relacionadas ao problema em questão, que utilizam técnicas de orientação a objetos: FUSION, proposto por COLEMAN (1996); COAD & YOURDON (1996); RUMBAUGH (1994); UML – Linguagem de Modelagem Unificada, proposta pela RATIONAL Software; Geo-OMT proposto por BORGES & DAVIS (2001).

3.1 PRINCÍPIOS PARA ADMINISTRAÇÃO DA COMPLEXIDADE

De acordo com o método de COAD & YOURDON (1996), o domínio do problema e as responsabilidades do sistema são conduzidos através dos seguintes

princípios de administração da complexidade: *abstração de procedimentos e de dados; encapsulamento; herança; ligação e associação; comunicação com mensagens; método de organização; escala; categorias de comportamento* para causa imediata, *mudança com o tempo* e *similaridade de funções*.

RUMBAUGH (1994) propõe a técnica de modelagem de objetos, que se divide em: modelagem estática; modelagem dinâmica e; modelagem funcional.

O modelo estático, também conhecido como *modelo de objetos*, é sugerido por RUMBAUGH (1994), o qual propõe uma descrição da estrutura de *objetos* de um sistema, suas *identidades*, seus *relacionamentos* com outros objetos e seus *atributos*. COAD & YOURDON (1996), descrevem **objeto** como a abstração de alguma coisa em um domínio de problemas, exprimindo as capacidades de um sistema em manter informações sobre ela, interagir com ela, ou ambos; e COLEMAN (1996), descreve **classe** como agrupamentos de objetos em conjunto. No modelo de objetos estão presentes as informações de natureza tanto de sistema quanto de dado geográfico.

COAD & YOURDON (1996) descrevem em seu método, formas de localizar classes de objetos, o que procurar e o que considerar e recusar. Sugerem também *formas de identificar estruturas e assuntos* proporcionando um modelo mais claro da realidade.

Nas classes de objetos são definidos os atributos, os quais podem ser considerados como propriedades, qualidades ou características que se atribuem a algo ou alguém. Os serviços também são definidos, e seu principal objetivo é especificar o comportamento solicitado. Em segundo plano, outra finalidade desse modelo é a comunicação entre os objetos.

Na modelagem dinâmica, a atenção é diagramar os relacionamentos vinculados ao tempo. Segundo RUMBAUGH (1994), este processo de modelagem se torna mais simples depois de realizada a modelagem estática dos objetos. Esta modelagem, por sua vez, considera apenas um instante de tempo. Os principais conceitos da *modelagem dinâmica* são os *eventos*, que representam estímulos externos, e os *estados*, que representam os valores dos objetos.

RUMBAUGH (1994) descreve **evento** como a ocorrência que acontece em um certo momento e não tem duração de tempo suficiente para ser medida; enquanto o **estado** mostra a reação de um objeto em relação aos eventos de entrada. A reação de um objeto quando ocorre um evento, pode ser formada por meio da ação ou modificação de estado pelo objeto.

Com o passar do tempo, os objetos estimulam uns aos outros, resultando em uma série de alterações em seus estados.

RUMBAUGH (1994) trabalha com a elaboração de *diagrama de fluxo de dados* (DFD). A diferença entre o modelo funcional e o dinâmico é que o primeiro especifica *o que acontece*, enquanto o segundo especifica *quando acontece*, respectivamente. Já o modelo de objetos especifica *o que acontece a quem*. Esse modelo tem o objetivo de mostrar os valores de entrada e os de saída num

processamento, sem preocupação com a seqüência em que os valores são processados. De acordo com RUMBAUGH (1994), um modelo funcional é composto dos seguintes elementos: *diagrama de fluxo de dados; processos; fluxos de dados; atores; depósitos de dados*.

4. VISUALIZAÇÃO CARTOGRÁFICA

MACEACHREN (1995) cita os *mapas visuais dinâmicos*, relatando a questão do *movimento* em mapas, o qual é considerado uma poderosa “variável” de mapa, porque combina as variáveis indispensáveis de *tempo* e *espaço*. O mesmo autor verificou que, num mapa dinâmico, as coisas que mudam atraem mais a atenção que coisas que não mudam e coisas que se movem, provavelmente, atraem mais a atenção que coisas que mudam de lugar.

SLOCUM (1999) e MACEACHREN (1995) citam um estudo feito por DIBIASE et al (1992) e a partir de considerações e experimentações realizadas pelo grupo de estudo os levaram a propor três novas *variáveis dinâmicas* para mapeamento: *duração, intervalo de mudança* e *ordem*. MACEACHREN (1995) complementa outras: *data de exibição, frequência* e *sincronização*.

Para desenvolver animação, SLOCUM (1999) sugere a utilização de linguagens visuais tais como o Visual Basic da Microsoft, dentre outros. O estudioso sugere a utilização de ferramenta GIS (Sistemas de Informação Geográfica), para reduzir o tempo de desenvolvimento, tais como o Map Objects e o ArcView da ESRI (Environmental Systems Research Institute).

5. MÉTODO

Os documentos elaborados foram de *especificação básica do sistema* e de *modelagem do sistema*. O documento de *especificação básica do sistema* se dividiu em: *análise de sistemas de navegação existentes; especificação das tecnologias envolvidas; resolução do vídeo e dimensão do mapa; características das bibliotecas geográficas e; requisitos funcionais básicos*. O documento de *modelagem do sistema* se dividiu em: *modelo estático* (que por sua vez é composto em: modelo das classes de objetos da base de dados; modelo das classes de objetos de sistema); *modelo dinâmico* e *modelo funcional*.

6. RESULTADOS

6.1 ESPECIFICAÇÃO BÁSICA DO SISTEMA

A solução adotada para este caso foi o levantamento de algumas fontes de informações como: Guia Rodoviário Quatro Rodas – edição de 1999 e 2000;

características das funções de sistemas de navegação terrestres existentes no mercado, analisadas por MORITA (1993); e testes com sistemas para uso em navegação terrestre. Além disso foram analisadas as diferenças entre as resoluções dos vídeos dos desktop e do palmtop, bem como as características das bibliotecas das classes de objetos para tratamento da informação geográfica.

6.1.1 ANÁLISE DE SISTEMAS EXISTENTES

As funções mais relevantes foram classificadas de acordo com suas estruturas de dados; suas funções de mapa, de sistema e de navegação.

Os sistemas analisados foram o ArcPad (ESRI) e o Nazareh (CASH Computadores). Os dois se demonstraram eficazes em termos de funcionalidades como aquelas citadas por MORITA (1993) e quanto à estrutura de dados os dois utilizam o formato *shapefile* do ArcView (ESRI). Um dos problemas destacados é a precariedade do projeto cartográfico, onde a provável solução seria a sua elaboração e implementação para cada situação de uso.

6.1.2 ESPECIFICAÇÃO DA TECNOLOGIA

A descrição das características da tecnologia é fundamental à documentação desse tipo de sistema, pois o mapa dinâmico é projetado e desenvolvido em um computador do tipo *desktop* para ser utilizado em *palmtop*.

A configuração da tecnologia para desenvolvimento do sistema pode variar entre as versões dos produtos e até mesmo na capacidade de processamento. a configuração aplicada neste trabalho foi:

- Microcomputador *desktop*: Pentium III – 866 Megahertz, 128 Megabytes de memória RAM e monitor de 15 polegadas; resolução do monitor: 1024 x 768 pontos;
- Softwares: compilador Visual Basic 6.0 – Microsoft; biblioteca Map Objects 2.1 – ESRI; Visual Modeller – Microsoft.

Para a navegação, são descritas as características, ideais, de um *palmtop*:

- Compac IPAQ H3870, memória de 64 Megabytes, 1 GigaBytes de espaço de armazenamento de dados: Vídeo LCD colorido (65 milhões de cores), resolução de 240 x 320 pontos; Dimensões (largura x altura): 8,38 cm x 13,46 cm para o monitor; Sistema Operacional: Microsoft Windows para *HandHeld*; Conector USB; saída de som; Métodos de entrada: toque em tela com caneta e teclado.

6.1.3 RESOLUÇÃO DO VÍDEO E DIMENSÃO DO MAPA

Neste caso, as resoluções dos vídeos dos computadores de desenvolvimento e de navegação são diferentes. Portanto, é necessário prever esses fatores no projeto cartográfico. Pelo fato do desenvolvimento pertencer a uma mídia de resolução inferior à da navegação, foi necessário encontrar valores de dimensão apropriados para compatibilizar a apresentação do mapa, em ambos.

Para eficácia do projeto cartográfico a melhor decisão seria projetar os símbolos direto no *palmtop*. Como não foi possível fazer isso neste trabalho por questões de limitações de recursos, decidiu-se projetar e desenvolver em *desktop*.

Com o monitor do *desktop*, de quinze polegadas, configurado na resolução de 1024 x 768 tem-se, aproximadamente, uma região de 7,0cm x 11,0cm (para o sistema) equivalente ao monitor do *palmtop* na resolução de 240 x 320. Após realizar testes, as dimensões finais da área total do sistema, no *desktop*, ficaram com 6,7cm de largura e 8,1cm de altura.

6.1.3 CARACTERÍSTICAS DA BIBLIOTECA DE OBJETOS

O Map Objects é um conjunto de componentes de software para mapeamento, que permitem criar e manipular mapas numa aplicação, inclusive podendo ser combinados com produtos multimídia. Ele é composto de um controlador *ActiveX* chamado *Map* e um conjunto de aproximadamente quarenta e cinco objetos de automação, na versão 2.0.

A partir dele é possível desenvolver mapas para diversas finalidades, utilizando compiladores visuais como o Visual Basic. Dentre os objetos, podem ser destacados aqueles de: visualização (dinâmica através de GPS, por exemplo) em tempo real; geométricos; localização de endereço; acesso aos dados; projeção e; acesso WEB.

6.1.3 REQUISITOS FUNCIONAIS BÁSICOS

O mapa dinâmico deve apresentar particularidades que atendam ao objetivo de representar, de forma eficiente, as informações de interesse a motoristas e turistas viajantes de rodovias, em automóvel equipado com o sistema. Neste projeto, os seguintes requisitos básicos são de extrema importância:

- **Base de dados:** armazenará todas as informações de natureza espacial, bem como os atributos (alfanuméricos, imagens e sons);

- ♦ **Representação cartográfica:** deverá contemplar o mapa (inclusive imagens de satélite) a fim de exibir informações de um mapa rodoviário, realizando operações de pan e zoom, gerenciamento de níveis de visualização, gerenciamento de visualização diurna e noturna, identificação de elementos no mapa, exibição de imagens de locais relacionados a turismo e lazer, automação de intervalos de

visualização dos *layers*. Além disso, deverá conter outras funções cartográficas, tais como, medição de distância, localização de quaisquer coordenadas no mapa.

• **Mapa dinâmico:** neste contexto, é o mapa digital que se movimenta na tela do computador para representar o veículo sobre o mapa, de acordo com interações de agentes externos como, por exemplo, o GPS que envia coordenadas. Ele deve mostrar a localização do veículo, de modo que permita:

- ♦ posicioná-lo geograficamente e mostrá-lo em “*tempo real*” considerando duas situações: primeiro, o veículo no centro permitindo somente o deslocamento do mapa; segundo, o veículo em qualquer posição, na região do monitor, deslocando o veículo e, o mapa somente quando o veículo estiver próximo da borda do mapa;
- ♦ informar os locais de atenção, como por exemplo, a ocorrência de algum cruzamento de vias: exibindo uma área circular de atenção e emitindo um som intermitente quando estiver dentro dessa área.

• **Roteamento:** encontrar o caminho mais próximo entre a localizações de origem e o destino.

6.2 MODELAGEM DO SISTEMA

O trabalho de modelagem do sistema permitiu gerar diversos diagramas referentes às classes de objetos, seus estados e eventos e, suas funcionalidades. Os diagramas confeccionados representam modelos de classes do sistema e da base de dados. A figura 01 apresenta a legenda do modelo de objetos.

A figura 02 apresenta a especificação daquelas classes que mais interagem com o mapa dinâmico: POINT é uma classe de objeto do MapObjects que representa a posição do veículo; FILELISTBOX trata da lista de imagens da base de dados; AAT representa a área de armazenamento temporário, a qual trata da informação recebida do GPS; SNDPLAYSOUNDA é uma API do Windows, utilizada aqui para uso de alerta em locais próximos de atenção e risco; TIMER é a classe referente ao relógio que conta o tempo para mudança do automóvel (a cada dois segundos os dados são passados do GPS para a AAT). É importante notar que para cada classes só foram especificados as propriedades e métodos que serão utilizados nessa aplicação.

FIGURA 01 – LEGENDA DO MODELO DE OBJETOS

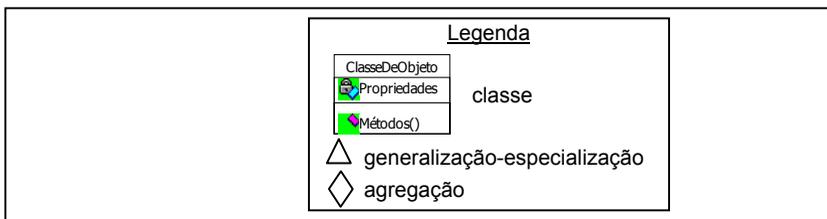
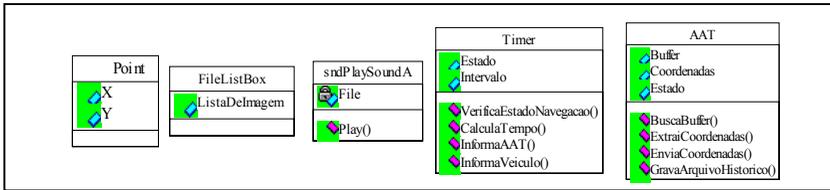
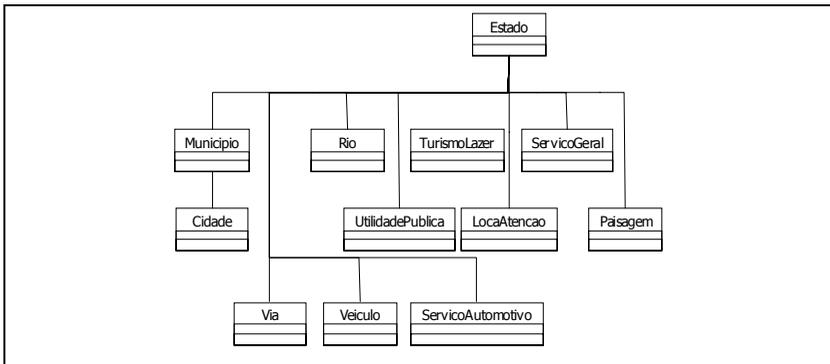


FIGURA 02 – MODELO ESTÁTICO DE CLASSES DE OBJETOS DE SISTEMA



A figura 03 apresenta as classes de dados geográficos, num contexto geral, que participam do modelo de objetos mostrado na figura 04 (detalhamento do diagrama temático).

FIGURA 03 - DIAGRAMA DE INFORMAÇÕES TEMÁTICAS



A figura 04 mostra uma visão geral do modelo estático contendo as classes de objetos dos dados geográficos da base de dados, produzidas no Visual Modeller. As classes de objetos especificadas (bem como as propriedades e os métodos) mostram claramente uma visão geral do conteúdo da base de dados geográficos, dos elementos generalizados, especializados e agregados para um mapa dinâmico de navegação terrestre.

A figura 05 apresenta o modelo dinâmico do mapa, mostrando a ocorrência dos eventos e, os estados dos objetos no momento que os eventos ocorrem. No módulo *Controlador e Navegação* é definido o início da ocorrência dos eventos, desencadeado pelo usuário. Caso o usuário ative a navegação, todos os outros eventos acontecerão em seqüência, realizando aquelas operações mostradas no item de Requisitos Funcionais Básicos, do Mapa Dinâmico.

FIGURA 04 – MODELO ESTÁTICO APRESENTANDO AS CLASSES DE OBJETOS GEOGRÁFICOS

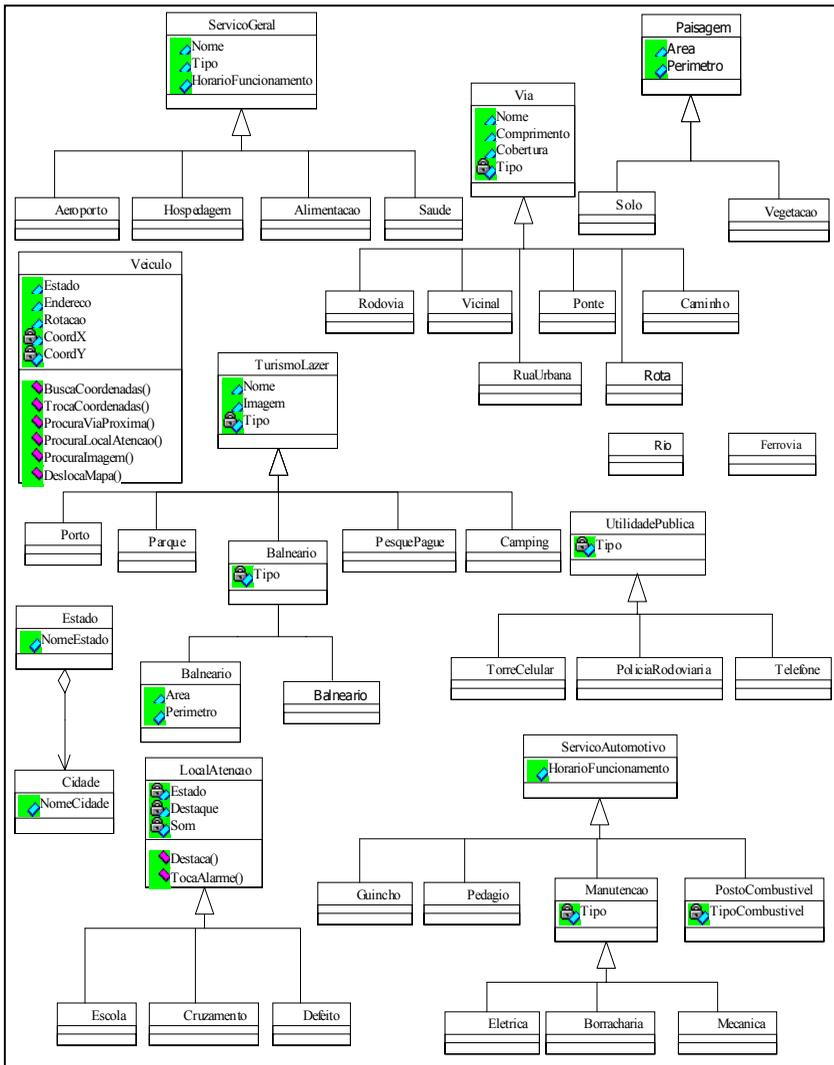
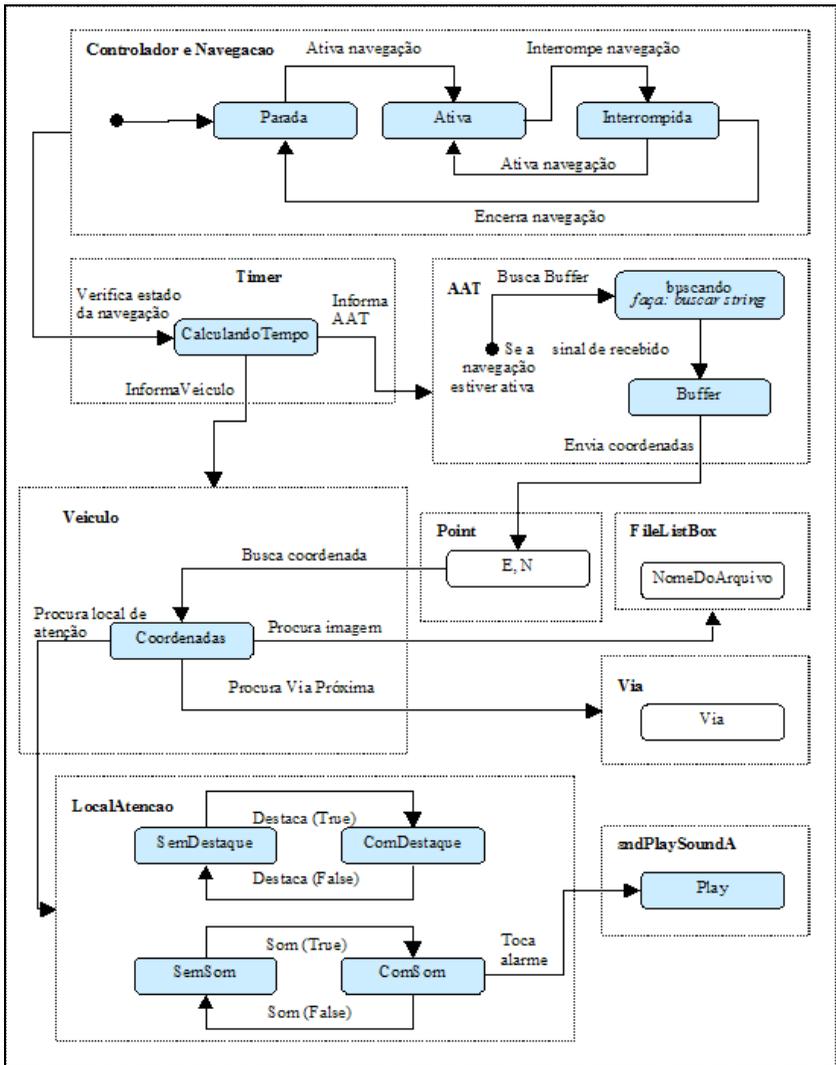


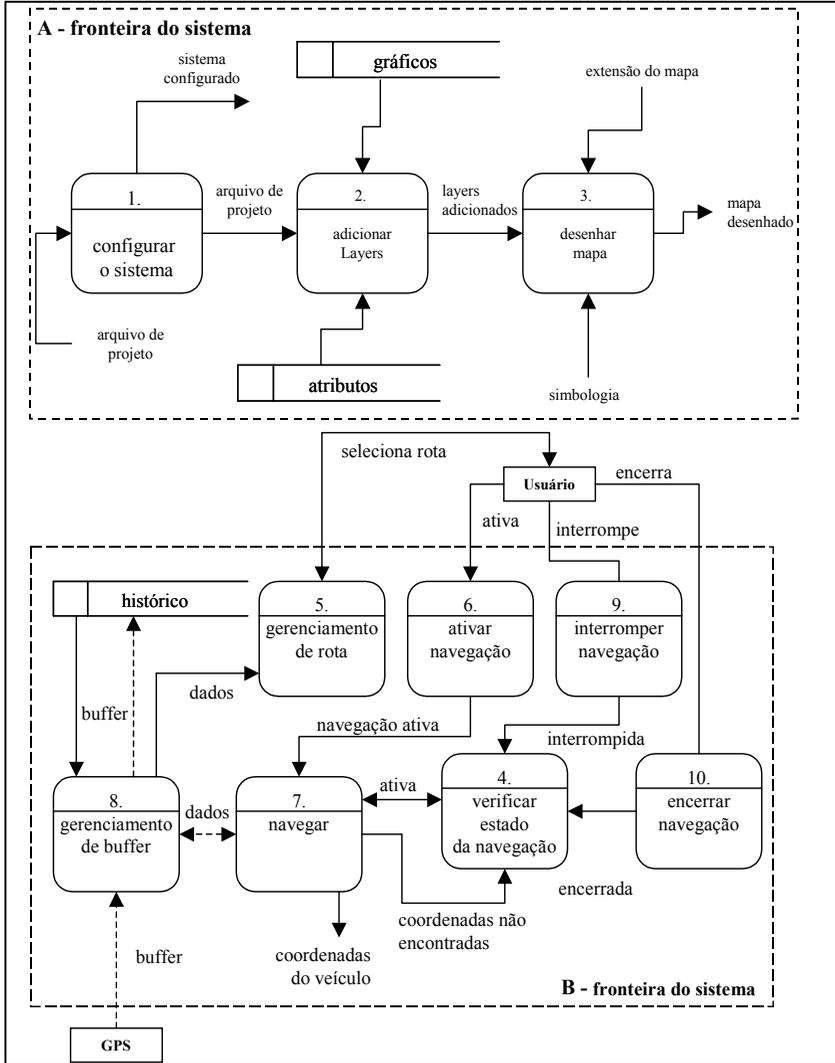
FIGURA 05 – MODELO DINÂMICO DO MAPA



A figura 06, apresenta o diagrama de fluxo de dados – DFD – de nível 0. Nesse momento, as operações realizadas não estão ao nível de função, elas mostram o funcionamento geral para representação do mapa dinâmico. As fronteiras A e B

apresentam a parte interna do sistema. Em A ocorre a carga dos dados no mapa, enquanto em B ocorre o funcionamento geral do mapa durante a navegação.

FIGURA 06 – DFD GERAL DO MAPA DINÂMICO: NÍVEL 0



As figuras 07, 08 e 09 mostram as operações do DFD 0, “fragmentadas” em três partes, de acordo com a numeração de cada uma, respectivamente, vinda da figura 06. A figura 07 mostra o gerenciamento do estado da navegação controlada pelo tempo; a figura 08 mostra as funções da navegação que também trabalham em função do tempo para que a posição do veículo seja alterada no mapa.

FIGURA 07 – DFD DO ESTADO DA NAVEGAÇÃO: NÍVEL 1

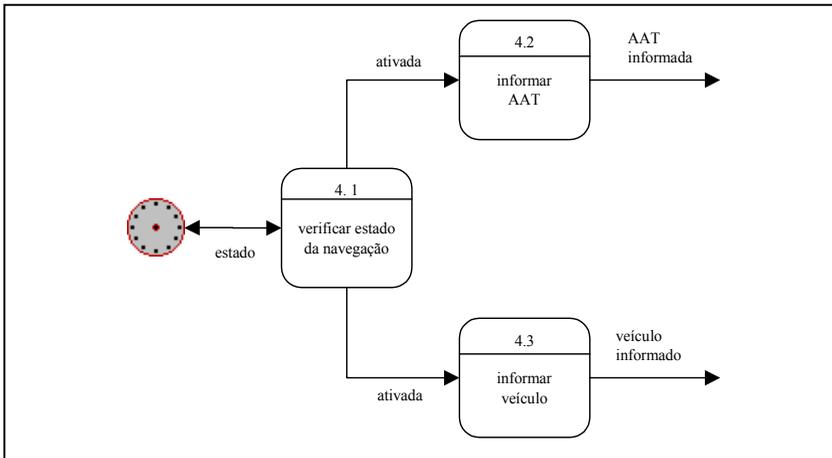
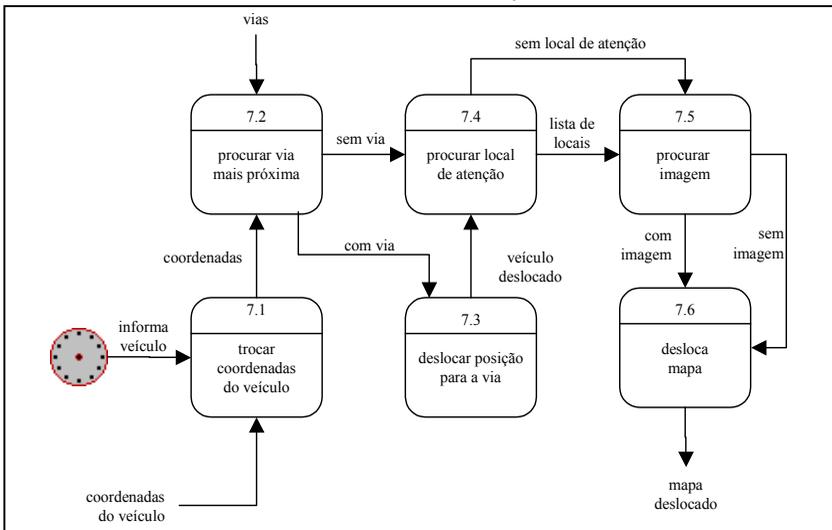
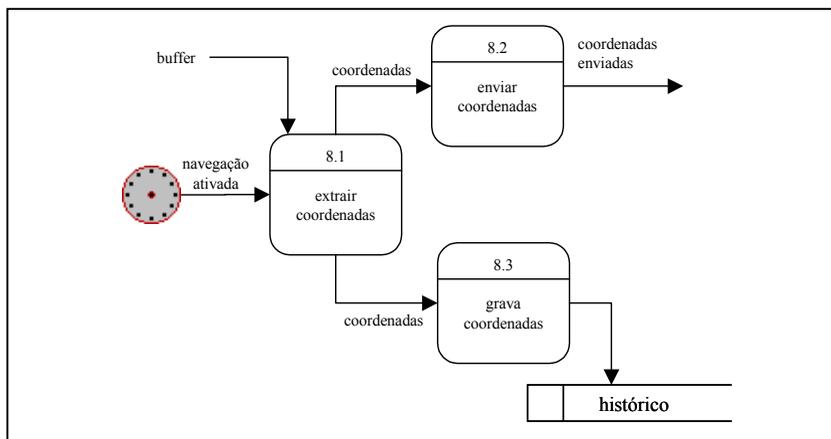


FIGURA 08 – DFD DA NAVEGAÇÃO: NÍVEL 1



A figura 09 mostra o gerenciamento do *buffer*, onde as coordenadas são extraídas da área de armazenamento temporário (AAT) para desenhar o veículo no mapa em sua “nova” posição.

FIGURA 09 – DFD DE GERENCIAMENTO DO *BUFFER*: NÍVEL 1



7. CONCLUSÕES

O mapa dinâmico implementado, de acordo com a especificação funcional básica e a modelagem do sistema, simula as características da aplicação com os componentes previstos. A modelagem do sistema contemplando as visões estática, dinâmica e funcional permitiram maior facilidade na implementação do sistema. Além disso, poderão ser utilizadas para outras atividades de melhoria ou manutenção. A tarefa de análise do sistema demonstrou-se muito importante. A escolha do método de modelagem tornou mais produtivo o trabalho do analista e do programador. A utilização de técnica de modelagem orientada a objetos pareceu mais intuitiva, já que os objetos passaram a ter características e funções, resultando em um modelo mais próximo da realidade. A documentação produzida fornece apoio ao projeto e à implementação do sistema, bem como a um projeto cartográfico de mapa dinâmico.

8. REFERÊNCIAS

BORGES, K., DAVIS C. **Modelagem de Dados Geográficos**. INPE, 2001. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br>>. Acesso em: 01 jan. 2001.

CASH COMPUTADORES. **Nazareh**. Disponível em :
<<http://www.cashcomputadores.com.br/>>. Acesso em: 01 jun. 2002.

COLEMAN, D. **Desenvolvimento orientado a objetos: o método Fusion**. Rio de Janeiro: Campus, 1996. 388 p.

COAD & YOURDON. **Análise baseada em objetos**. 2 ed.
Tradução: CT Informática. Rio de Janeiro: Campus, 1996. 224 p.

ESRI. **ArcPad e MapObjects**. Disponível em: <<http://www.esri.com/>>. Acesso em: 01 ab. 2003.

ABRIL. **Guia Rodoviário Quatro Rodas**. São Paulo, 1999 e 2000.

HASEGAWA, J. K., GALO, M., MONICO, J. F. G., IMAI, N. N. Sistema de Localização e Navegação apoiado por GPS.
In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA., 1999, Salvador: **Anais ...**
Rio de Janeiro, SBC, 1999. CDROOM.

MORITA, T. Grading of the Map Functions in Navigation System.
In: 16TH INTERNACIONAL CONFERENCE., 1993. Cologne – Koln. Internation
Cartographic Association. 1993.

MACEACHREN, A. M. **How maps work: representation, visualization and design**. London: The Guilford Press. 1995.

PUGLIESI, E. A. **Desenvolvimento de mapa dinâmico para sistema de navegação terrestre**. Presidente Prudente, 2002, 204 f. Dissertação de Mestrado. Departamento de Cartografia. Faculdade de Ciências e Tecnologia /UNESP.

RATIONAL Software. **UML**. Disponível em: <<http://www.rational.com/>> Acesso em 01 jun. 2002.

RUMBAUGH, J. **Modelagem e projetos baseados em Objetos**. Tradução: Dalton Conde de Alencar. Rio de Janeiro: Campus, 1994. 652 p.

9. AGRADECIMENTOS

À empresa GEMPI Informática pela doação de licenças de MapObjects 2.0 (ESRI) à FCT/Unesp.

PERFIL HABITACIONAL DO PARANÁ

Clélia Franco^{1*}
Nilton Nobuhiro Imai²
Vilma Tachibana³
Airton Marco Polidório^{4*}

1 Universidade Estadual de Maringá – PR – cfranco@din.uem.br

2 UNESP – Presidente Prudente – SP – nnimai@prudente.unesp.br

3 UNESP – Presidente Prudente – SP – vilma@prudente.unesp.br

4 Universidade Estadual de Maringá – PR – ampolido@din.uem.br

(*) Alunos do Curso de Pós-graduação em Ciências Cartográficas da UNESP em nível de doutorado – Presidente Prudente.

RESUMO

Em 1964 o déficit habitacional provocado pelo processo de urbanização acelerada do país chegava a 8 milhões de habitações. Para dirimi-lo tanto o governo federal como os estaduais foram implantando políticas habitacionais que, ao longo do tempo, foram sendo reavaliadas e modificadas. Por conta dessas modificações e aos processos migratórios internos e externos ocorridos no estado do Paraná, fica difícil caracterizar o atual perfil habitacional do estado. Este trabalho apresenta resultados obtidos na mineração de dados domiciliares coletados pelo IBGE no censo de 2000, para a descoberta de padrões capazes de possibilitar uma melhor compreensão do perfil habitacional do estado do Paraná, por meio do uso de ferramentas estatísticas e de visualização.

Palavras-chave: Mineração de dados; Agrupamentos; Análise das Componentes Principais.

ABSTRACT

In 1964 the Brazil habitation deficit caused by the process of accelerated urbanization of the country arrived to 8 million houses. To settle it habitation politics they were implanted at federal and state level, that went by several modifications along the time. Due to those modifications and to internal and external migratory processes happened in the state of Paraná, it is difficult to characterize the

habitation profile of the state now. This paper presents results obtained in the datamining from home data collected by IBGE in the census of 2000, for the discovery of patterns capable to make possible a better understanding of the habitation profile of the state of Paraná, through the use of statistical tools.

Keywords: Datamining; Clusters, Principal Component Analysis.

1. INTRODUÇÃO

1.1. A QUESTÃO HABITACIONAL

Em 1964 o déficit habitacional provocado pelo processo de urbanização acelerada do país chegava a 8 milhões de habitações (CHAP CHAP,2002). Para dirimi-lo foram implantadas políticas habitacionais no âmbito federal e estadual.

No âmbito federal foi criado o Sistema Brasileiro de Poupança e Empréstimo (SBPE) e o Sistema Financeiro da Habitação (SFH). O órgão central do SFH era o Banco Nacional da Habitação (BNH), responsável pelo gerenciamento do Fundo de Garantia por Tempo de Serviço (FGTS) e pela definição das condições de financiamento das moradias para os consumidores finais. Durante 22 anos, o BNH financiou aproximadamente 4 milhões de moradias sendo extinto em novembro de 1986. A partir de sua extinção a condução da política habitacional a nível federal sofreu várias modificações.

No âmbito estadual, foi criada em 1965 a Companhia da Habitação do Paraná (COHAPAR), responsável pela política habitacional do Estado até os nossos dias.

Concomitante as constantes modificações observadas na política habitacional a nível federal e estadual, o estado do Paraná sofreu profundas transformações devidas a processos migratórios internos e externos.

A população do Paraná até o início da década de 70 tinha uma base rural, contudo a substituição de culturas (cafeicultura) pela cultura associada da soja e trigo no norte do Paraná, e a modernização da agricultura desencadeou um processo de êxodo rural que alterou profundamente o crescimento e a distribuição espacial da população do estado.

O contingente rural emigrou à fronteira agrícola ocidental ou setentrional do país, às terras lindeiras ao rio Paraná, no vizinho país Paraguai, concorrendo na formação dos “brasil-guaaios”, às regiões Metropolitanas sobretudo Curitiba e São Paulo, e aos centros urbanos regionais, fazendo com que pela primeira vez na história populacional do estado a população urbana supera-se a rural. (ALEGRE & MORO, 1992). Genericamente, ao longo das duas últimas décadas, o quadro da situação rural e urbana da população paranaense inverteu-se completamente. De uma situação majoritariamente rural em 1970 evoluiu para uma situação

predominantemente urbana 1990.

Entretanto, a intensidade e a dinâmica do processo não foi homogênea, porque se encontrava estreitamente vinculada às mudanças estruturais na agricultura. E concretamente, o norte paranaense perdeu cerca de 15,4% da sua população durante a década de 70 e 80, ao contrário a região metropolitana de Curitiba conheceu o aumento de 12,2% no efetivo de sua população (MORO,2000).

O rearranjo espacial ocorrido nas 3 últimas décadas da população paranaense associado as constantes modificações na política habitacional praticadas pelos governos federal e estadual dificultam a caracterização do perfil habitacional do Estado atualmente.

Este trabalho apresenta resultados obtidos na mineração de dados domiciliares coletados pelo IBGE no censo de 2000, para a descoberta de padrões capazes de possibilitar uma melhor compreensão do perfil habitacional do estado do Paraná, por meio do uso de ferramentas estatísticas.

2. DESCOBERTA DE CONHECIMENTO EM BANCO DE DADOS

Descoberta de conhecimento pode ser entendida como uma mudança de filosofia entre uma abordagem de análise de dados voltada à verificação, para uma voltada à descoberta (MENDONÇA NETO, 2001).

Em uma abordagem voltada a descoberta os dados coletados são “filtrados” para a extração de informações capazes de agregar conhecimento novo, potencialmente útil previamente desconhecidas e não trivial a um determinado domínio de aplicação, entende-se como domínio de aplicação o sistema real ou abstrato sob análise através dos dados coletados.

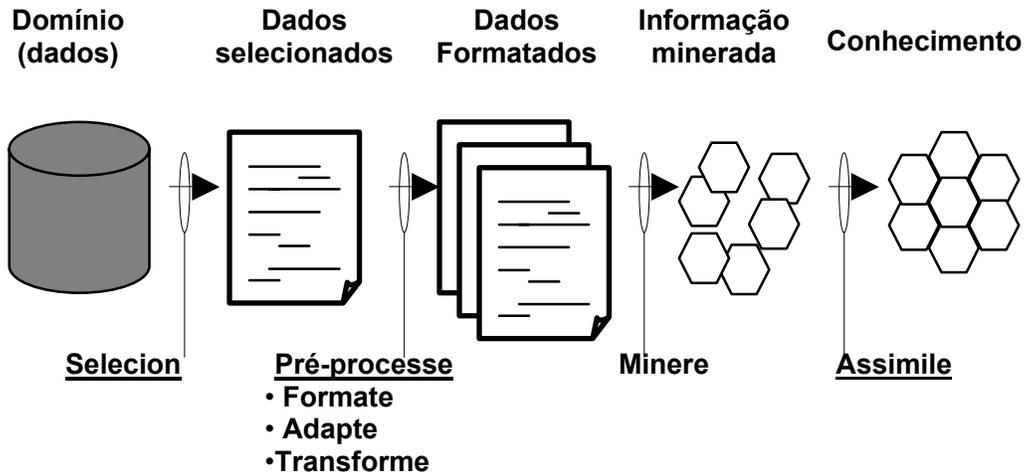
Um processo típico de descoberta de conhecimento possui quatro passos: seleção de dados, pré-processamento dos dados, extração de informações interessantes, potencialmente úteis, previamente desconhecidas e não trivial dos dados e a assimilação da informação minerada conforme ilustra a figura 1. Para tanto se utiliza uma ampla gama de ferramentas fornecidas pelas mais variadas áreas de conhecimento como reconhecimento de padrões, inteligência artificial, aprendizado de máquina, estatística, dentre outras.

Uma das bases da descoberta do conhecimento é a premissa de que dados necessários à mineração de dados em determinado domínio estão disponíveis em alguns repositórios de dados, o analista deve ter garantias quanto à integridade e a confiabilidade dos mesmos, realizando então uma pré-seleção dos dados a serem utilizados pelo algoritmo de mineração.

Dados crus coletados de um ou mais repositório de dados dificilmente se encontram prontos para a mineração devendo ser preparados para tal, o que envolve as fases de pré-processamento e tratamento dos dados. Algumas operações comuns desta fase são: escolha dos dados relevantes, padronização, eliminação de

redundância, simplificação da estrutura e a limpeza de dados de maneira a se obter uma base representativa no formato atributo/valor (BIGOLIN, 2000).

FIGURA 01- O PROCESSO DE DESCOBERTA DE CONHECIMENTO



Fonte: MENDONÇA NETO, 2001

Mineração de dados é o passo que transforma dados em informações e caracteriza-se pela definição e aplicação da técnica e do algoritmo que diante de uma tarefa específica seja capaz de extrair eficientemente conhecimento implícito e útil de um conjunto de dados (AURÉLIO,1999). Tarefas da descoberta de conhecimento são especificadas quanto ao nível de informações que o perito deseja sobre o domínio, podendo englobar uma ou mais técnicas de mineração de dados incluindo desde a visualização dos dados, que possibilita uma melhor compreensão e conhecimento dos mesmos, até a construção de modelos preditivos (KOPERSKI et al., 1996). A tabela 01 apresenta as principais tarefas da descoberta do conhecimento e as técnicas mais utilizadas para mineração de dados.

TABELA 01 - TAREFAS DE DESCOBERTA DO CONHECIMENTO E SUAS TÉCNICAS DE MINERAÇÃO DE DADOS

TAREFAS	TÉCNICAS
Associação	Estatística e Teoria dos Conjuntos
Classificação	Alg. Genéticos, Redes Neurais e Árvores de Decisão
Aglomerção	Redes Neurais e Estatística
Previsão de séries temporais	Redes Neurais, Lógica Nebulosa e Estatística

Fonte: AURÉLIO,1999

O último passo da descoberta do conhecimento envolve a interpretação e assimilação da informação minerada expressa por padrões ou modelos.

Convém ressaltar que a apresentação visual dos resultados obtidos pelas

técnicas de detecção de padrões possibilita melhor interpretação e assimilação dos resultados, porque padrões minerados geralmente são complexos e variam em diversas dimensões o que dificulta a sua interpretação quando apresentados na forma de tabelas ou textos.

2.1. MINERAÇÃO DE DADOS

2.1.1. Técnicas Estatísticas

Técnicas estatísticas estão dentre as mais utilizadas em um processo de mineração de dados, estatística é uma área já sedimentada e amplamente estudada, disponibilizando aos usuários grande número de algoritmos já implementados e otimizados.

A extração de padrões de dados coletados em um processo de mineração de dados pode envolver a análise de grande número de variáveis. É possível construir aglomerações entre os dados de acordo com suas similaridades, utilizando-se para tanto de todas as variáveis disponíveis, representando-os de maneira bidimensional através de um dendrograma. Muitas vezes, porém, um pequeno número destas variáveis contém as informações mais relevantes, enquanto que a maioria das variáveis adiciona pouco ou nada à interpretação dos resultados. A redução de variáveis através de critérios objetivos, permitindo a sua visualização através de gráficos contendo maior informação estatística, pode ser conseguida através da análise de componentes principais.

2.1.2. Análise de Agrupamentos

O objetivo principal dos métodos de agrupamento ou aglomeração é separar objetos ou observações em agrupamentos naturais de forma que os elementos pertencentes a um mesmo grupo tenham um alto grau de semelhança ou similaridade, enquanto que, quaisquer elementos pertencentes a grupos distintos tenham pouca ou nenhuma similaridade (ANDEBERG,1973). A similaridade entre dois objetos ou observação pode ser expressa como uma função da distância entre dois pontos representativos dos mesmos no espaço n -dimensional. A maneira mais usual de calcular a distância entre dois pontos i e j no espaço n -dimensional é conhecida por Distância Euclidiana (d_{ij}) e é dada por (01):

$$d_{ij} = \left[\sum_{k=1}^n (x_{ik} - x_{jk})^2 \right]^{1/2} \quad (01)$$

onde: d_{ij} é a distância (similaridade) entre os objetos i e j ;

x_{ik} é o valor do atributo k para o objeto i ;

x_{jk} é o valor do atributo k para o objeto j .

Dentre os métodos para detectar agrupamentos no espaço n -dimensional, um dos mais simples matematicamente consiste em agrupar os pares de pontos que estão mais próximos, usando a distância euclidiana, e substituí-los por um novo ponto localizado na metade da distância entre eles. Este procedimento, quando repetido até que todos os pontos sejam agrupados em um só ponto, é conhecido como método hierárquico aglomerativo, hierárquico porque permite obter vários níveis de agrupamento.

O histórico das fusões pode ser apresentado de forma gráfica e recebe o nome de dendrograma (GORDON,1981). Os dendrogramas são especialmente úteis na visualização de semelhanças entre objetos representados por pontos em espaço com dimensão maior do que três, onde a representação de gráficos convencionais não é possível.

No dendrograma, em um dos eixos são locados os objetos e no outro, o índice de similaridade, S_{ij} , entre os pontos i e j , calculado segundo (02):

$$S_{ij} = 1 - \frac{d_{ij}}{d_{\text{máx}}} \quad (02)$$

onde:

d_{ij} é a distância entre os pontos i e j ;

$d_{\text{máx}}$ é a distância máxima entre qualquer par de pontos.

Os dendrogramas, portanto, consistem em diagramas que representam a similaridade entre pares de objetos (ou grupos de objetos) numa escala que vai de um (identidade) a zero (nenhuma similaridade).

2.1.2.1. Análise de Componentes Principais

Na análise de conjuntos de dados multivariados, a possibilidade de reduzir a dimensionalidade dos dados sem grande perda de informação desempenha um papel crucial.

Caso seja possível proceder a uma aproximação em espaços bi- ou tri-dimensionais, é possível uma visualização gráfica aproximada do conjunto de dados. Mesmo quando não seja possível uma redução de dimensionalidade tão acentuada, as simplificações associadas à consideração de menos dimensões têm provado ser úteis para a compreensão, exploração e modelagem de dados (CADIMA, 2002).

A redução de dimensionalidade é o objetivo das técnicas de análise fatorial, e no caso concreto de se analisar uma matriz X de objetos ou observações de p variáveis sobre n indivíduos, da Análise das Componentes Principais (ACP). Em uma ACP identificam-se sucessivas combinações lineares das p variáveis originais que sejam

de variância máxima, sujeitas às restrições de anteriores combinações lineares. Embora, a informação estatística presente nas n -variáveis originais seja a mesma dos n -componentes principais, é comum obter em apenas 2 ou 3 das primeiras componentes principais mais que 90% desta informação.

O gráfico das componentes principais plotadas duas a duas ou no espaço tridimensional fornece uma janela privilegiada (estatisticamente) para observação dos pontos no espaço n -dimensional.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

O domínio desta aplicação é o habitacional, e foram coletados dados relativos a renda mensal e tipo de habitação para as 39 microrregiões do estado, ilustradas na Figura 2, da base de dados SIDRA disponibilizado pelo IBGE do censo de 2000 (IBGE, 2000).

FIGURA 02 - MICROREGIÕES DO ESTADO DO PARANÁ



Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), 2000

Os dados coletados foram codificados como em (03)

XX_YY (03)

onde:

XX faixa salarial

YY tipo de imóvel

As faixas salariais foram subdivididas em 07 a saber:

S1 - até um salário mínimo;

S2 - entre 1 e 2 salários mínimos;

S3 - entre 2 e 5 salários mínimos;

S4 - entre 5 e 10 salários mínimos;

S5 - entre 10 e 20 salários mínimos;

S6 - mais de 20 salários mínimos

S7 - sem rendimentos (inclusos aqui os chefes de domicílio que recebem benefícios da previdência social).

Os tipos de domicílio foram subdivididos em 08 a saber:

PO - adquirido com recursos próprios;

PQ - adquirido com financiamento já quitado;

PF - adquirido por financiamento em quitação;

AL - alugado;

CC - cedido;

CE - cedido pelo empregador;

CO - cedido de outra forma;

OF - outra forma não especificada.

perfazendo um total de 56 variáveis sob análise.

A análise foi efetuado considerando-se um índice microrregional I_{ir} (04)

$$I_{ir} = 100 \frac{XX - YY_{ir}}{\sum_{i=1}^r XX - YY_{ir}} \quad (04)$$

Os dados foram pré-processados pelo software Microsoft Exel 97, e minerados utilizando-se as técnicas de agrupamento hierárquico aglomerativo ligação simples e componentes principais pelo Statistica 5.0, foi ainda utilizado como software de apoio CorellDraw 7.0 na edição e formatação dos gráficos.

4. RESULTADOS

Como primeira abordagem no processo de mineração de dados procedeu-se a análise visual dos dados em gráfico de barra cumulativo ilustrado no Gráfico 01 para cada uma das 7 faixas salariais já definidas.

A análise preliminar constatou uma situação bastante homogênea intra-faixas salariais bem como entre as 39 microrregiões geográficas do Estado.

Na faixa salarial S1, imóveis adquiridos com recursos próprios (PO) e imóveis já quitados adquiridos por financiamento (PQ) representam mais de 60% do total de

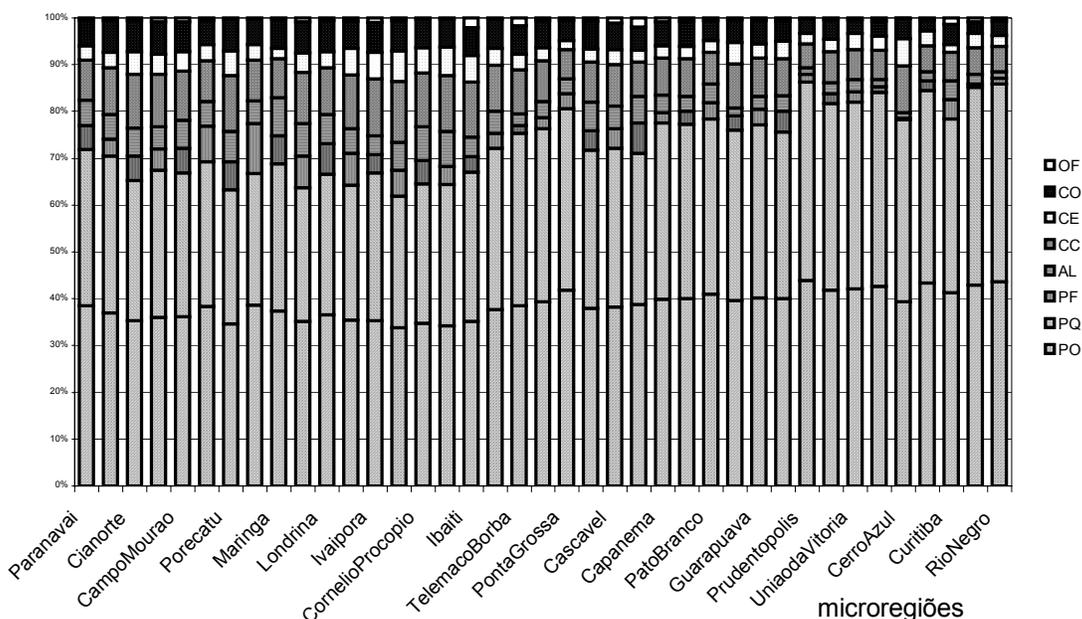
domicílios em todas as microrregiões chegando a um máximo de 85% na microrregião de Prudentópolis.

Na faixa salarial S2 a microrregião de Porecatu apresenta o mínimo de domicílios PO e PQ correspondente a 50%.

Nas faixas S5, S6 e S7 a microrregião de Foz de Iguaçu apresenta a menor porcentagem de imóveis PO e PQ.

Outro detalhe a ressaltar é o fato de que a porcentagem de imóveis alugados (AL), apresenta pequenas variações em relação à soma dos imóveis cedidos (CC), cedidos pelo empregador (CE) e cedido de outra forma (CO).

GRÁFICO 01 - SITUAÇÃO HABITACIONAL DAS MICRORREGIÕES GEOGRÁFICAS DO PARANÁ PARA A FAIXA SALARIAL S1



Fonte: ELABORAÇÃO PRÓPRIA

O dendrograma ilustrado como gráfico 02 obtido pelo método da ligação completa pela distância Euclidiana apresentou o seguinte resultado: agrupamento 1 - Cascavel, Toledo, Palmas, Wenceslau Brás, Ibaiti, Goioerê, Ivaiporã, Jacarezinho, Cornélio Procopio, Campo Mourão, Umuarama, Paranavaí; agrupamento 2 - Jaguariaíva, Guarapuava, Telêmaco Borba; agrupamento 3 Cerro Azul, Paranaguá, Lapa, Irati, São Mateus, Rio Negro, Prudentópolis, Pitanga, União da Vitória, Francisco Beltrão, Capanema; agrupamento 4 - Londrina, Maringá; agrupamento 5 - Assaí, Faxinal, Porecatu, Floraí, Astorga, Apucarana, Cianorte; agrupamento 6 - Foz do Iguaçu; agrupamento 7 - Curitiba, Pato Branco, Ponta Grossa.

A espacialização desses agrupamentos ilustrada na Figura 03 é representativa dos movimentos migratórios e do desenvolvimento industrial do Estado. Atenção especial à microrregião geográfica de Foz do Iguaçu que se configura como “outlier” dentro do panorama habitacional do Estado. Essa microrregião teve grande

aumento populacional impulsionado pela construção da Usina Binacional de Itaipú, e pela criação do Parque Nacional do Iguaçu, o que alavancou o turismo na microrregião.

GRÁFICO 02 - DENDROGRAMA DO AGRUPAMENTO HIERARQUICO LIGAÇÃO COMPLETA

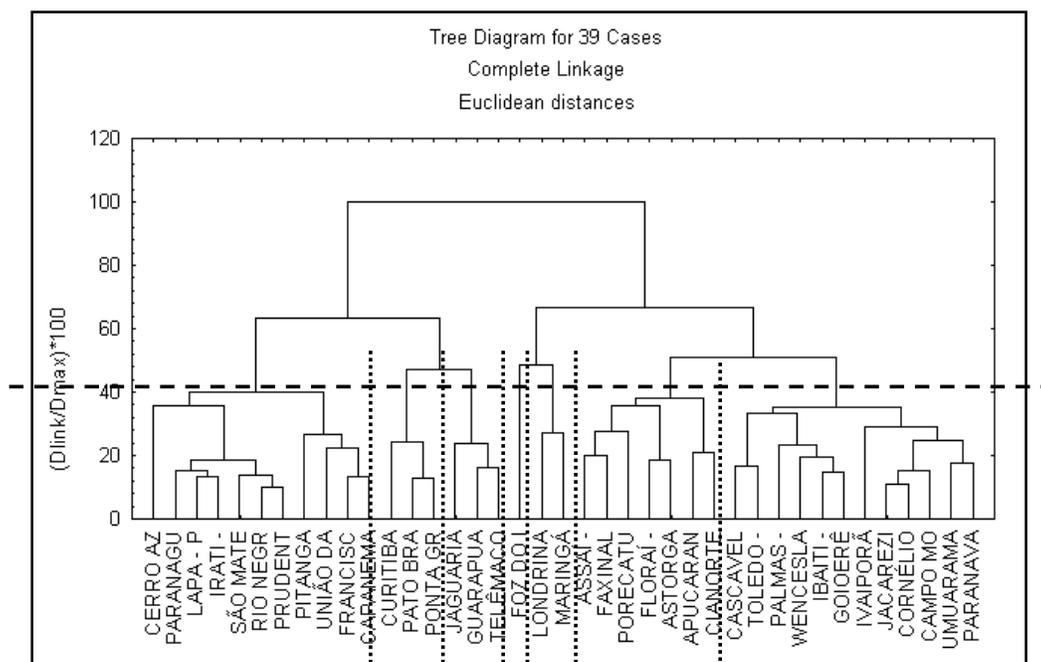
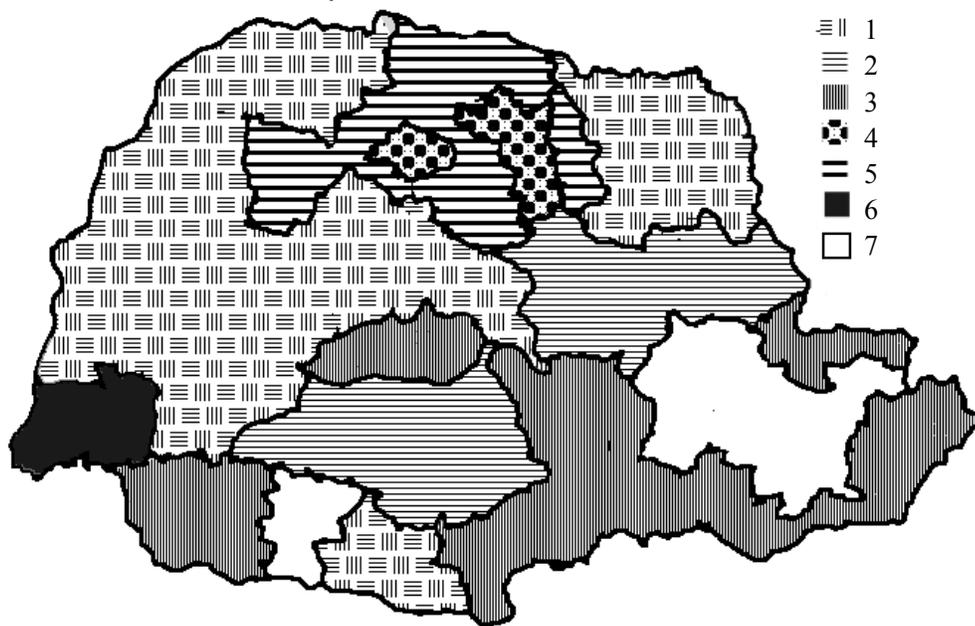


FIGURA 03 - ESPACIALIZAÇÃO DOS AGRUPAMENTOS OBTIDOS NO GRÁFICO 02



A extração das componentes principais indica que as 8 primeiras componentes principais possuem 90 % da informação estatística presentes nas variáveis originais, vide Tabela 02.

TABELA 02 - EXTRAÇÃO DAS PRINCIPAIS COMPONENTES

	Variância		Autovalor	
	Autovalor	Total %	Acumulado	% Acumulada
1	23,24172	41,50308	23,24172	41,50308
2	9,218803	16,46215	32,46053	57,96523
3	7,888671	14,08691	40,3492	72,05214
4	3,721235	6,645063	44,07043	78,6972
5	2,056374	3,672096	46,12681	82,3693
6	1,733604	3,095721	47,86041	85,46502
7	1,372465	2,450831	49,23288	87,91585
8	1,225284	2,188007	50,45816	90,10386

A primeira componente principal apresenta valores significantes positivos para domicílios do tipo CO (S1,S4,S5,S6,S7), CC (S7,S1) CE (S1,S7) e negativos para aqueles do tipo PF (S1,S2,S7), e PO (S6). A segunda componente principal apresenta valores significantes positivos para PF (S4,S5,S6),CO (S5) e PO (S6) e negativos para PQ (S4,S5,S6), PF (S1) AL (S6). A terceira componente apresenta valores significantes positivos para CC (S4,S5,S6), CE (S4,S5,S6) e CO (S6) e negativos para PQ (S6), OF (S5) e PO (S5,S6).

O gráfico 03 ilustra a primeira componente principal plotada contra a segunda e, pode-se dizer que as cidades plotadas no primeiro quadrante possuem como característica grande número de domicílios cedidos e domicílios próprios financiados na faixa salarial S6,S5 e S4. As do segundo quadrante domicílios financiados em todas as faixas salariais e próprios nas faixas S1,S6 e S7, no terceiro quadrante predomina domicílios próprios financiados em todas as faixas e próprios na faixa S1 e S7 e no quarto quadrante domicílios cedidos e próprios quitados nas faixas S4,S5 e S6. A dispersão indica que quanto a imóveis cedidos em todas as faixas a situação do estado é bastante heterogênea.

O gráfico 04 ilustra a primeira componente principal plotada contra a terceira componente, nota-se grande concentração de cidades no terceiro e quarto quadrante cuja característica predominante é dada por domicílios do tipo próprio nas faixas S1, S6, S7 e próprio financiado nas faixas S1,S7,S2. No terceiro quadrante cuja característica predominante são domicílios financiados em todas as faixas e próprio nas faixas S1 e S7 a cidade de Foz do Iguaçu aparece como destaque deste quadrante.

O gráfico 05 ilustra a segunda componente plotada contra a terceira, valendo ressaltar o aglomerado do terceiro quadrante que cuja característica principal é a predominância de domicílios próprios quitados e próprios.

Como a legenda é comum aos gráficos 03, 04, e 05 ela figura apenas uma vez, após o gráfico 05.

GRÁFICO 03 – PRIMEIRA CP × SEGUNDA CP

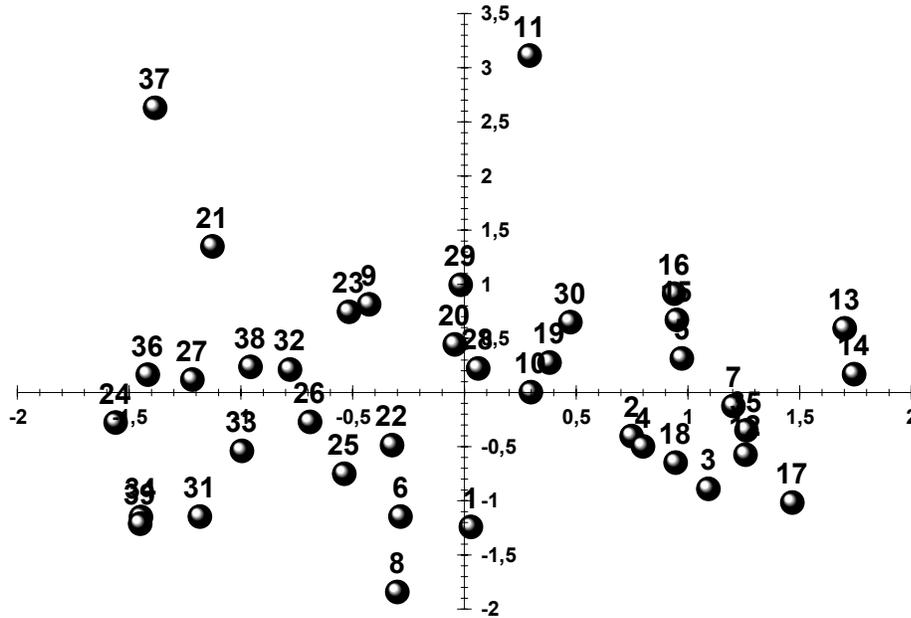


GRÁFICO 04 - PRIMEIRA CP × TERCEIRA CP

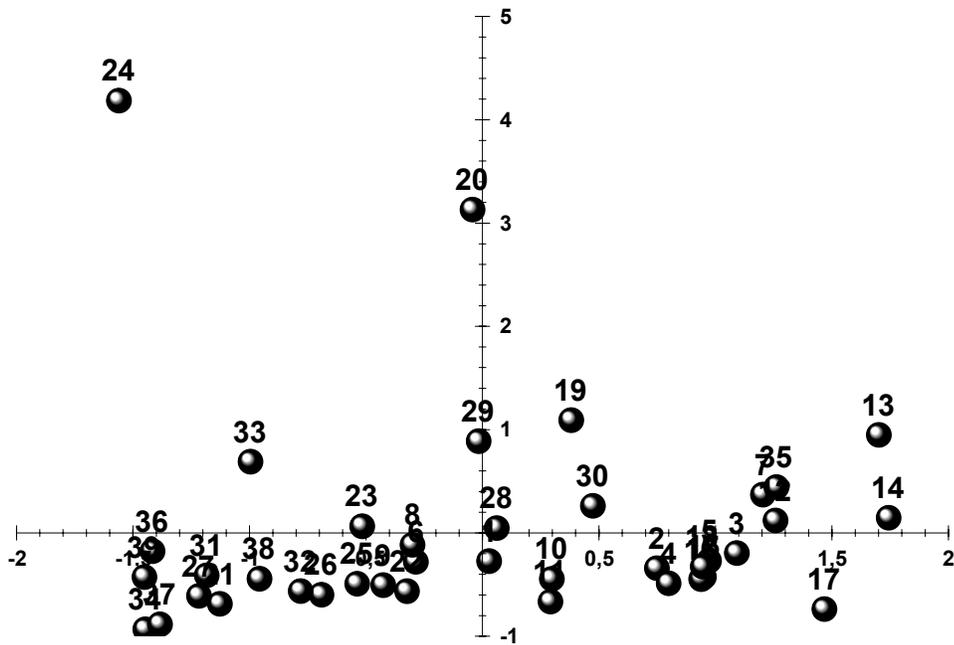
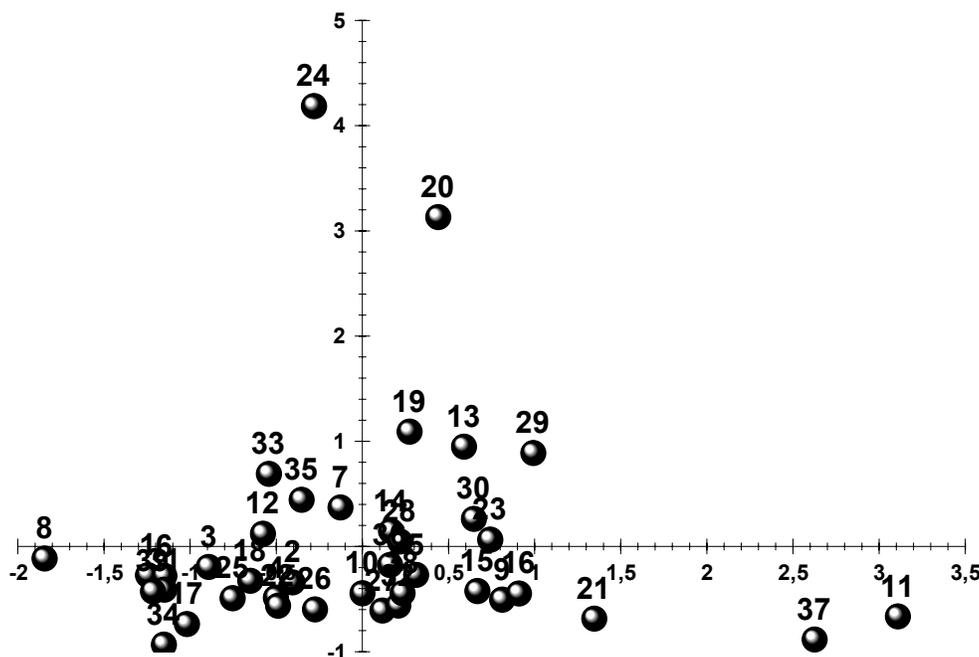


GRÁFICO 05 – SEGUNDA CP × TERCEIRA CP



Paranavaí	1	Umuarama	2	Cianorte	3	Goioerê	4
C. Mourão	5	Astorga	6	Porecatu	7	Floraí	8
Maringá	9	Apucarana	10	Londrina	11	Faxinal	12
Ivaiporã	13	Assaí	14	C. Procópio	15	Jacarezinho	16
Ibaiti	17	W. Braz	18	T. Borba	19	Jaguariaíva	20
P. Grossa	21	Toledo	22	Cascavel	23	F. Iguaçu	24
Capanema	25	F. Beltrão -	26	P. Branco	27	Pitanga	28
Guarapuava	29	Palmas	30	Prudentópolis	31	Irati	32
U. Vitória	33	S. M. do Sul	34	C. Azul	35	Lapa	36
Curitiba	37	Paranaguá	38	R. Negro	39		

5. CONCLUSÃO

O estado do Paraná possui atualmente mais de 60% de seus domicílios adquiridos por recursos próprios e através de financiamentos já quitados. A proporção de imóveis financiados é baixa e traduz a política habitacional praticada pelos governos federais e estaduais.

As ferramentas estatísticas utilizadas no processo de mineração de dados mostraram-se eficientes no sentido de permitir o agrupamento de microrregiões com características similares em termos habitacionais, bem como as que se configuram como “outlier”, ou seja, as que possuem características diferenciadas devendo portanto receber atenção especial.

A análise das componentes principais destacou as principais características dos agrupamentos, que poderão servir de base a políticas habitacionais a serem implementadas no Estado.

REFERÊNCIAS

ALEGRE, M.; MORO, D.A. **A Mobilidade da População nas Antigas Áreas Cafeiras do Norte do Paraná**. Boletim de Geografia,. Ano 4, No. 1. pp. 28-73 Maringá, 1986.

ANDEBERG, M. R. **Cluster Analysis for Applications**. New York. Academic Press, 1973

AURÉLIO, M. et al. **Descoberta de Conhecimento e Mineração de Dados**. Apostila, ICA -PUC - Rio de Janeiro, 1999.

BIGOLIN, N.M. **Data Mining: Conceitos e Técnicas**, Escola Regional de Informática (ERI 2000), pp.233-250, Foz de Iguaçu, Tubarão, Maio 2000.

CADIMA, J. F. C. L. **Redução de Dimensionalidade através duma Análise em Componentes Principais: Um Critério para o Número de C. P. a Reter**. Disponível em http://www.ine.pt/prodserv/estudos/debito.asp?x_estudoid=208. Acesso dezembro, 2002

CHAP CHAP, ROMEU. **O Novo Governo e o Ministério das Cidades. Artigo. O Estado de São Paulo**. Editorial 08/12/2002. Disponível em: <http://www.estado.estadao.com.br/editorias/02/12/08/aberto002.html>. Acesso 2003

GORDON, A.D. **Classification - Methods for the exploratory Analysis of Multivariate Data**. Chapman and Hall, Londres, 1981

HAN, J. et al., 2001. **Spatial Clustering Methods in Data Mining: A Survey**. Anais School of Computing Science. Simon Fraser University. Canada

IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística), 2003 [on line]. Disponível em: <http://ww.ibge.gov.br/bda>. Acesso em: fevereiro/2003.

JAIN, A. K. et al.. **Statistical Pattern Recognition: a Review**. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. In, 22(1): 4-37, January 2000.

KOPERSKI, K. et al. **Spatial Data mining: Progress and Challenges Survey Paper. SIGMOD'96 Workshop. on Research Issues on Data Mining and**

Knowledge Discovery (DMKD'96), Montreal, Canada, June 1996. Disponível em: <http://db.cs.sfu.ca/sections/publication/kdd/kdd.html>. Acesso 2002.

MENDONÇA NETO, M.G., 2001. **Mineração de Dados**. Anais da 6ª Escola Regional de Informática da Regional 2 do Estado de São Paulo, São Carlos, São Paulo.

MORO, D.A. **Desenvolvimento Econômico e Dinâmica Espacial da População no Paraná Contemporâneo**. Boletim de Geografia. Ano 16, No. 1. pp 1-55, Maringá, 1998.

NEVES, M. C. et al.,2001. **Mineração de Dados em Grandes Bancos Geográficos**. Relatório Técnico. INPE, São José dos Campos.

DISPONIBILIZAÇÃO DE INFORMAÇÕES ESPACIAIS EM COMPUTADORES DE MÃO

Mônica Inês dos Santos Pires
Claudia Robbi Sluter
Luiz Augusto Koenig Veiga

Universidade Federal do Paraná
Setor de Ciências da Terra, Departamento de Geomática
Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Curitiba –PR
(monicaisp@terra.com.br, robbi@ufpr.br, kngveiga@geoc.ufpr.br)

RESUMO

A apresentação de informações espaciais em um *palmtop* deve ser simplificada e reestruturada para as propriedades físicas do equipamento. Nesta pesquisa a visualização do mapa temático gerado será desenvolvida para o uso em um *palmtop* modelo HP Jornada 568, com sistema operacional *Pocket PC* e *display* com tamanho de 3,5". A adequação das informações espaciais esta sendo feita aplicando-se a teoria cartográfica destinada à construção de mapas, envolvendo: a) O estudo da generalização cartográfica na determinação das feições que serão visualizadas na tela do *palmtop*; b) O estudo das variações gráficas, ou seja, variáveis visuais e teoria das cores, aplicadas em projeto de símbolos cartográficos pontuais; c) Determinação de símbolos cartográficos pontuais adequados ao tamanho da tela do equipamento; d) Geração de representação temática de um mapa turístico, para manipulação na tela de um computador com área de visualização de 3,5". A metodologia adotada baseou-se em estudos científicos publicados sobre o assunto e utilizou o módulo *Image Editor* do *software Borland Delphi 5* para a geração dos símbolos cartográficos pontuais e o *software ArcView GIS 3.2* para a geração e manipulação da representação temática na tela de um computador PC com monitor de 17" e área de visualização de 3,5". A determinação do conteúdo de informação a ser apresentado no mapa está vinculada às escalas de representação utilizadas na tela do *palmtop*: 1:5.000, 1:10.000 e 1:20.000. A área de estudo adotada foi o centro da cidade de Curitiba onde serão visualizadas as feições geográficas vias, quadras e toponímias e alguns serviços públicos e estabelecimentos comerciais existentes, representados na forma de símbolos pictoriais.

Palavras-chave: Visualização Cartográfica; Generalização Cartográfica; Mapas Digitais em Palmtops.

ABSTRACT

The presentation of spacial information on a palmtop screen must be simplified and reorganized for the physical properties of the equipment. In this research the visualization of thematic maps will be developed for use them in a 3,5" display size palmtop model HP Jornada 568, with operational system Pocket PC. The adequacy of the spacial information is being made by applying the cartographic theory for the construction of maps, concerning: a) The study of cartographic generalization for the decision on how to visualize some features in the palmtop screen; b) The visual investigation of the graphical variations and the theory of colors applied to project of cartographic point symbols, c) Definition of the appropriated cartographic point symbols to the size of the palmtop screen, d) Generation of a thematic representation of a tourist map, for manipulation in the screen of a 3,5" computer. The methodology is based on scientific papers published about cartographic point symbols design and computer screen presentation. The cartographic symbols were generated with Image Editor of the Borland Delphi 5.0 software. The thematic representation of 3.5" computer screen was simulated in a 17" screen by using the ArcView GIS 3.2. The amount of information depicted on each of those 1:5000, 1:10000 and 1:20000 map scales was defined based on the necessary cartographic visualization. The study area is the Curitiba city downtown. The thematic maps represent some public utilities and comercial services, and their base map shows streets and their names, and blocks.

Keywords : Cartographic Visualization; Map Generalization; Palmtop Digital Map.

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento da cartografia digital propiciou uma nova abordagem para a funcionalidade dos mapas denominada de visualização cartográfica. "No processo de visualização, o conhecimento sobre os fenômenos geográficos, suas evoluções e interações, é adquirido a partir da visualização das imagens (mapas) geradas e manipuladas durante o processo de análise" (ROBBI, p.22, 2000).

Nos anos 70 os mapas "ideais" eram considerados ferramentas para comunicar uma informação conhecida. Entretanto, com o crescente desenvolvimento de produtos destinados à visualização de informações espaciais em meio digital, os mapas tem sido usados para finalidades turísticas, monitoramento de veículos e

cadastro de imóveis através da sua publicação na *internet* e mais recentemente em computadores de mão (*palmtops*).

O projeto cartográfico para a visualização de mapas digitais na tela dos *palmtops* deve ser adequado às propriedades físicas do equipamento, capacidades de armazenamento e memória para processamento, pois as bases de dados espaciais disponíveis para *desktops* e na *WEB (WORLD WIDE WEB)* não são compatíveis para esta finalidade. Nesta pesquisa essa adequação está sendo feita a partir da aplicação da teoria cartográfica destinada à construção de mapas, envolvendo: a) O estudo da generalização cartográfica na determinação das feições que serão visualizadas na tela do *palmtop*; b) O estudo das variações gráficas, ou seja, variáveis visuais e teoria das cores, aplicadas em projeto de símbolos cartográficos pontuais; c) Determinação de símbolos cartográficos pontuais adequados ao tamanho da tela do equipamento e d) Geração de representação temática de um mapa turístico, para manipulação na tela de um computador com área de visualização de 3,5”.

A área de estudo adotada foi o centro da cidade de Curitiba, devido à variedade de serviços públicos e estabelecimentos comerciais existentes. Para criação dos símbolos cartográficos pontuais foi utilizado o módulo *Image Editor* do *software Borland Delphi 5* e para a geração e manipulação da representação temática foi utilizado o *software ArcView GIS 3.2*. A determinação do conteúdo de informação a ser apresentado no mapa está vinculada às escalas de representação utilizadas na tela do *palmtop*. Para a área de estudo adotada serão visualizadas as feições geográficas *vias, quadras e toponímias* além dos fenômenos geográficos representados na forma de símbolos pontuais pictoriais nas escalas 1:5.000, 1:10.000 e 1:20.000.

2 GENERALIZAÇÃO CARTOGRÁFICA

“A generalização cartográfica requer um profundo conhecimento da essência e função do mapa. Como conseqüência, primeiramente temos que nos questionar sobre o propósito do mapa, a extensão do conteúdo de suas informações e também sobre as necessidades do usuário, considerando o poder de expressão de um tipo desejado de mapa para um propósito específico” (Sociedade Suíça de Cartografia, 1979, p.5).

Segundo KEATES (1973, p. 23) “o mapa é uma representação reduzida da superfície topográfica, e todos os outros fenômenos são mostrados em relação a esta base, e a escala do mapa em grande parte determina a importância da informação que pode ser mostrada”. A generalização cartográfica é um processo de abstração de informação que depende da escala, pois determina o espaço para os símbolos no mapa. A seleção das informações importantes em uma base de dados deve resultar em uma representação clara e informativa do fenômeno geográfico. A redução de escala é acompanhada pela redução em detalhe de representação de objetos

individuais, e ao mesmo tempo de exagero ou realce de objetos individuais para torná-los mais distinguíveis (JONES, 1997, p.274).

De acordo com IMHOF (1962) apud Sociedade Suíça de Cartografia (1977, p.12), “a generalização tem como objetivo obter uma maior acuracidade possível de acordo com a escala do mapa, um bom poder de informação geométrica, uma boa caracterização dos elementos e formas, a maior similaridade possível em relação à natureza em formas e cores, claridade e boa legibilidade, simplicidade e explicitação da expressão gráfica e a coordenação de diferentes elementos” .

Segundo KEATES (1989, p. 22), a classificação das feições a serem mostradas dentro de uma área do mapa é afetada pela generalização cartográfica que envolve as operações de seleção, simplificação, omissão, combinação, exagero e deslocamento sobre os produtos cartográficos. Na classificação os objetos são separados em grupos de feições idênticas ou similares, reduzindo a complexidade da imagem cartográfica e organizando a informação mapeada. De acordo com KEATES (1973, p.79) a seleção das feições que formarão o mapa é uma operação complexa, e nesta etapa a classificação das feições é inevitável.

A Seleção, envolve o estágio inicial para a preparação do conteúdo do mapa. Neste processo é feita a determinação dos objetos do mundo real que deverão ser representados no mapa. De acordo com KEATES (1973, p.78) todos os mapas são seletivos no sentido que reportam algumas coisas e outras não. A seleção é determinada inicialmente em função da escala de representação e do propósito do mapa. Como exemplo se tem os mapas com a finalidade de representação da topografia, cujo processo de seleção depende inicialmente: da escala de representação, das características da área coberta e do ponto de vista do usuário, pois mapas topográficos de uma mesma área terão o conteúdo seletivo diferente quando construídos por dois cartógrafos.

A omissão é aplicada quando a redução de escala resulta em símbolos de ponto, linha ou área muito próximos entre si, o que pode reduzir a atenção de outros símbolos mais importantes ao propósito do mapa (JONES, 1997, p.274). Segundo KEATES (1973, p.79) a omissão é uma função da escala, densidade geográfica e importância relativa da feição no mapa. É um processo complexo, pois limita a simbolização das feições ou do fenômeno que foi selecionado e representado. Como exemplo se tem um mapa hidrográfico onde serão representados os rios em função de sua classificação, seu tamanho e grau de isolamento.

A simplificação consiste na redução de detalhes de feições individuais ou de grupos de feições similares. Apesar de poder ser utilizada em todas as escalas de representação, seu efeito é mais pronunciado em escalas pequenas. Segundo KEATES (1982, p.80) a reapresentação do mapa pode diferir das formas aparentes da realidade. Portanto, as feições lineares e os contornos presentes em um mapa podem ser menos complexos do que a realidade que eles representam. Como exemplo se tem a representação de curvas sinuosas em uma estrada, que em escalas

maiores pode ser representada conforme a “realidade” e em escalas menores deve ser simplificada.

A combinação é aplicada em áreas muito próximas em função da redução da escala. Segundo JONES (1997, p. 283) a combinação resulta numa junção de símbolos representativos de feições pertencentes à mesma classe que estão originalmente representadas. Como exemplo se tem grupos de edificações que estão separados em uma escala e quando a escala é reduzida os símbolos se fundem sendo necessário o uso do processo de combinação para manter a legibilidade do mapa.

O exagero usa a simbolização para mostrar a importância de uma determinada feição ou objeto mesmo que ocorra a perda da relação espacial entre o símbolo, e a feição real definida pela escala. De acordo com KEATES (1973, p.31) todos os símbolos devem ter um tamanho mínimo para serem percebidos em forma e dimensão. Portanto, em escalas pequenas o tamanho relativo e a área das feições são exageradas pelos símbolos. Como exemplo se tem as rodovias que em escalas pequenas preserva seu comprimento e a largura sofre o processo de exagero.

O deslocamento é utilizado quando o espaço destinado a um determinado conjunto de feições ou objetos a serem representados não os comporta, sendo necessário adequá-los alterando suas posições relativas para efetuar a representação. De acordo com KEATES (1973, p.31) Quando as feições estão muito próximas umas das outras, influenciando no conteúdo restante do mapa, devem ser ligeiramente deslocadas da posição correta para que permaneçam distinguíveis visualmente.

O mapa possui uma escala inferior ao do fenômeno representado. Através das operações de seleção, simplificação, omissão, combinação, exagero e deslocamento, procura-se organizar as informações a serem visualizadas no mapa para que o propósito de comunicação e análise possam ser atingidos.

3 SÍMBOLOS CARTOGRAFICOS PONTUAIS

A simbolização é a forma de representação de uma imagem reduzida do mundo real através dos símbolos. A definição da simbolização é um processo complexo, envolve o estudo de convenções e padrões que mais se adequem a necessidade do mapa. Os mapas são considerados meios de comunicação, pois tem como objetivo fornecer informação. Se a informação representada é facilmente entendida pelo usuário então, o propósito do mapa foi alcançado. Em um projeto cartográfico deve-se inicialmente definir o propósito do mapa e conseqüentemente quais as características do fenômeno geográfico serão representadas por meio de uma simbologia.

No desenvolvimento da linguagem cartográfica devem-se considerar três aspectos inter-relacionados dos símbolos cartográficos: a dimensão espacial das feições mapeadas, o nível (ou escala) de medida e as primitivas gráficas e suas variações (variáveis visuais) (MACEACHREN, 1994, p.). Baseado em suas

dimensões espaciais os dados ou fenômenos representados são classificados em fenômenos pontuais, lineares e de área (BOS, 1984, p. 18). Os símbolos pontuais são usados para indicar características como a localização e a identidade das feições de pequena extensão territorial em relação à escala do mapa. Os símbolos lineares são usados para a representação de feições que possuem características lineares como: rios, estradas, entre outros. Os símbolos areais são usados para representar feições de extensão areal “considerável” em relação à escala do mapa. Segundo o mesmo autor os símbolos pontuais podem ser classificados em três categorias: pictoriais ou descritivos, geométricos ou abstratos e de letra ou números.

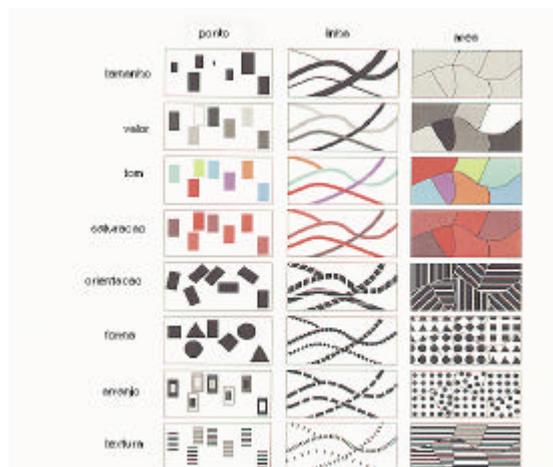
De acordo com PEREIRA (1998, p. 14) apud BOS (1984,p.19) & CAMPBELL (1991, p.205) os símbolos pictoriais representam um caminho simplificado ou estilizado da realidade. Segundo FORREST & CASTNER (1985, p.12) os símbolos pictoriais reproduzem uma característica visual ou de dimensão dos objetos que eles representam, podendo ser relacionados à imagem ou ao conceito. Possuem como vantagem a mínima explicação para sua compreensão, são facilmente lembrados e evitam o uso contínuo da legenda. Entretanto possuem como desvantagem o tamanho, que resulta na ocupação de área maior do mapa e conseqüentemente na perda da acurácia posicional. Exemplos de símbolos pictoriais indicados pela ICA (1995) são: uma cruz indicando um hospital e talheres indicando restaurante (alimentação). Os símbolos geométricos possuem formas regulares como o quadrado, o círculo, o triângulo ou o hexágono. São fáceis de desenhar e não ocupam grandes espaços melhorando a acurácia posicional. Entretanto, seu significado deve ser definido por uma legenda a ser consultada constantemente. Os símbolos de letra são usados na forma de símbolos pontuais inseridos em um símbolo geométrico: um círculo, um quadrado ou um triângulo.

Segundo DENT (1997, p. 74) os níveis (ou escalas) de medidas são classificados como nominal, ordinal, intervalar e de razão. No nível nominal os dados são identificados baseando-se em igualdades e desigualdades e os grupos de informação são denominados. Exemplos de mapas que retratam informações nominais são: mapa dos tipos de solo ou mapa dos tipos de cultura agrícola. No nível ordinal os dados são identificados e ordenados, permitindo uma classificação hierárquica do fenômeno. Exemplo de mapeamento usando o nível de medida ordinal é um mapa de fertilidade do solo mostrando regiões de baixa, média e alta fertilidade. Para o nível intervalar, além da identificação e ordenação, a distância numérica entre as classes é conhecida. As magnitudes não são absolutas, ou seja, qualquer ponto inicial pode ser usado, sendo comum exemplificá-lo através das escalas de temperatura Celsius ou Fahrenheit. Com a escala Celsius, por exemplo, não se pode afirmar que 50 °C é duas vezes mais quente do que 25 °C. Semelhante ao nível de medida intervalar, no nível de medida de razão os eventos são ordenados e as distâncias entre as classes são conhecidas. As medidas são absolutas, pois

possuem o ponto inicial absoluto, permitindo a representação de razões, como a densidade demográfica.

Nos mapas bidimensionais as variáveis visuais são variações gráficas das primitivas gráficas ponto, linha ou área. Segundo ROBBI (2000, p. 32), “a simbologia para um mapa temático deve ser estabelecida de forma que as propriedades perceptivas visuais, dos símbolos pontuais, lineares ou de área, representem as características do nível de medida com o qual o fenômeno geográfico está definido”. BERTIN (1986) identificou as variáveis visuais como: localização no plano, tamanho, cor, valor, textura, orientação e forma e montou um guia com a utilização para as mesmas em mapas temáticos denominado de “Semiologia Gráfica” ou “Semiologia dos Gráficos”. Semiologia é a ciência que estuda os tipos de sinais utilizados num processo de comunicação (TEIXEIRA & FOLETTI apud ARCHELLA, 2003, p.5.). Baseado na tipologia proposta por BERTIN (1986) alguns cartógrafos como MACEACHREN (1994a, p.17) propuseram modificações e ampliações do conjunto de variáveis visuais, que passaram ser classificadas como: tamanho, valor de cor, tom de cor, saturação de cor, orientação, forma, arranjo e textura como mostra a figura 1.

FIGURA 1: VARIÁVEIS VISUAIS DISPONÍVEIS PARA REPRESENTAÇÕES PONTUAIS, LINEARES E DE ÁREA.



FONTE: ADAPTADA DE MACEACHREN (1994A, P.17)

A figura 2 a seguir descreve a utilização das variáveis gráficas em relação aos níveis de medida mostrados na figura 1.

FIGURA 2: VARIÁVEIS GRÁFICAS ADEQUADAS AOS NÍVEIS DE MEDIDA.

	numérico	ordinal	nominal
localização	G	G	G
tamanho	G	G	P
valor de cor	M	G	P
saturação de cor	M	G	P
tom de cor	M ^a	M ^a	G
textura	M	M	G ^b
orientação	M ^c	M ^c	G
arranjo	P	P	M ^d
forma	P	P	G

G = bom M = efeito marginal P = pobre

FONTE: ADAPTADA DE MACEACHREN (1994A, P.17)

Para o nível de medida nominal as variáveis gráficas: localização, tom de cor, textura, orientação e forma são usadas com eficiência. Entretanto variável textura deve ser utilizada somente para a diferenciação de duas ou três categorias. As variáveis visuais: tamanho, valor e saturação de cor não são recomendadas. A variável visual arranjo deve ser analisada para cada primitiva gráfica (ponto, linha e área).

Segundo MACEACHREN et al (1994b, p. 11), "o passo chave para projetar e construir um mapa legível é equiparar o tipo de contraste entre os símbolos, com o tipo de contraste dos objetos ou conceitos representados". A percepção visual dos símbolos esta relacionada com os processos psicofísico e cognitivo da leitura do mapa. De acordo com DECANINI; ROBBI (1989, p.399), os usuários em geral são pouco familiarizados com convenções cartográficas, e para que eles utilizem o mínimo a legenda e leiam de imediato o mapa, a forma gráfica dos símbolos deverá provocar a imaginação e considerar os hábitos dos usuários.

4 PALMTOPS

No início dos anos 80 foram lançados os primeiros computadores portáteis denominados *notebooks*. A partir dos anos 90 os computadores portáteis tornaram-se aparelhos pequenos o suficiente para serem carregados no bolso, sendo classificados como *palmtops* e *handhelds*. Os dois equipamentos são leves e possuem baixo consumo de energia, entretanto, possuem conceitos diferentes. Os *palmtops* são aparelhos mais compactos e não possuem teclado. Para digitar um texto o usuário pode usar o teclado gráfico localizado na parte inferior da tela, escrever com a caneta do equipamento em um espaço reservado na tela ou utilizar um teclado

externo, que possui o tamanho de um teclado normal usado em *desktops*. Os *handhelds* possuem a aparência física de um *notebook*, com o teclado de um lado e a tela do outro.

Segundo BENEVENTO (2001,p. 66-67) as empresas pioneiras no mercado de *palmtops* foram a *USRobotics* que em 1992 fundou a subsidiária *PalmComputing* e em abril de 1996 lançou o organizador pessoal denominado de *PalmPilot 5000*, e a *Apple* que em 1994 lançou o *palm Newton*. Esses equipamentos usavam o sistema operacional *Palm OS* para o gerenciamento das funções e eram utilizados como um gerenciador de informações pessoais, contendo aplicativos como: calculadora, calendário, agenda de números e endereços, contatos, bloco de notas, gravador de som, alto-falante e e-mail.

No ano de 1997 empresas como a Casio, HP, Philips, Sharp entre outras investiram no lançamento dos *handhelds* e a *Microsoft* lançou um sistema operacional em uma versão reduzida do *Windows*, denominada *Windows CE*, desenvolvido especialmente para o equipamento. Inicialmente possuíam versões compactas do *Word*, *Excel* e *Power Point* e permitiam a instalação de programas ou jogos desenvolvidos para eles. Atualmente os *handhelds* são divididos em duas categorias: *Handheld PC* e *Handheld PC Pro*. Os *Handhelds PC* possuem o tamanho de uma fita de vídeo e sua tela geralmente não excede os 17 cm de diagonal. São recomendados para anotações rápidas e leitura e envio de *e-mail*. Podem possuir saída para *VGA*, *slots compact Flash*, *fax modem* interno entre outros. Utilizam o sistema operacional *Windows CE H/PC*. Os *Handhelds PC Pros* são maiores e geralmente possuem telas de mais de 20 cm na diagonal. O hardware é o mesmo dos *Handhelds PC*. Suportam conexões *USB*, *Hard Disks tipo II* e utilizam o sistema operacional *Windows CE H/PC PRO*. Em 19 de abril de 2000 a *Microsoft* lançou a versão *Windows CE 3.0*, denominada de *Pocket PC (PPC)*, para ser utilizado nos *palmtops* da HP, Casio e Compaq.

Atualmente os *palmtops* são classificados em equipamentos baseados em sistemas operacionais *Palm OS 4.1 (Palm Inc)* e *Windows CE / Pocket PC (Microsoft)* e possuem acessórios como fax / modem, acesso à Internet, placas de rede a cabo ou *wireless*, porta infra-vermelha, teclados avulsos, câmeras, GPS, entre outros, além de uma variedade de softwares compatíveis. O sistema operacional *Palm Os 4.1* está disponível nos modelos *Garmim*, *HandHera*, *Handsrping*, *Kyocera*, *Palm*, *Samsung*, *Sony* e *Symbol*. Entretanto a capacidade de memória continua inferior a de um *palmtop* que possui sistema operacional *Windows CE / Pocket PC*. As figuras 3, 4 e 5 mostram alguns modelos de *palmtops* existentes para os sistemas operacionais descritos acima.

FIGURA 3 : PALMTOPS COM SISTEMA OPERACIONAL PALM OS 4.1



GARMIN iQue 3600 (com GPS)



PALM m115

FONTE: PALM BRASIL (2003, internet)

FIGURA 4 : PALMTOPS COM SISTEMA OPERACIONAL POCKET PC 2002



ASUS A 600



CASSIOPEIA EM 500

FONTE: PALM BRASIL (2003, internet)

FIGURA 5 : HANDHELDS COM SISTEMA OPERACIONAL POCKET PC 2002



HP JORNADA 680/690



MOBILON PRO PV 5000

FONTE: PALM BRASIL (2003, internet)

A concorrência existente entre os sistemas operacionais *Palm OS* (*Palm Inc*) e *Windows CE / Pocket PC* (*Microsoft*) tem estimulado o desenvolvimento de novas funcionalidades pelas empresas que os utilizam. A mais recente é a integração de celulares com os palmtops, possibilitando o uso da tecnologia WAP (*Wireless Application Protocol*). A empresa *Samsung* desenvolveu um modelo de *palmtop* (figura 6) que possui tela colorida, contendo todos os programas padrões do *Palm OS*. Possui 8MB de memória e processador de 33 MHz e permite a utilização do telefone e anotações ao mesmo tempo (PALMLAND, 2002).

FIGURA 6: PALMTOP SANSUNG SPH-130 COM TELEFONE CELULAR INTEGRADO PLATAFORMA OS 4.1.



FONTE: HP BRASIL (2002, internet)

4.1 ESPECIFICAÇÃO DO HP JORNADA 568

A visualização dos mapas temáticos gerados esta sendo feita para o uso em um *palmtop* modelo HP Jornada 568 (figura 7) com sistema operacional *Pocket PC* e *display* com tamanho de 3,5". A escolha do equipamento foi devido a sua capacidade de memória e velocidade de processador para trabalhar com aplicativos destinados a visualização cartográfica e SIG, tanto para bases vetoriais como matriciais. Entretanto, é possível utilizar qualquer modelo de *palmtop* para a visualização e manipulação dos mapas temáticos, desde que o mesmo seja estruturado para o tamanho da tela do equipamento, capacidades de armazenamento e memória para processamento.

FIGURA 7: POCKET PC HP JORNADA 568



FONTE: HP BRASIL (2002, internet)

A Tabela a seguir contem as especificações do equipamento *pocket PC* HP jornada 568.

TABELA 1: ESPECIFICAÇÃO DO POCKET PC

Processador	- 206 MHz 32-bit StrongARM
Memória	- 32MBRAM (jornada565) - 64MBRAM (jornada568) - 32MBFlashROM

	- memória data bus 103 MHz
Tela	- 3,5 polegadas - TFT Refletiva colorida com 240x320 pixels - Mais de 16 bits (65,536 cores)
Tamanho	- 132x76.5x17.2mm - 173g com bateria Standard

FONTE: ADAPTADA DO SITE HP (2002)

5 METODOLOGIA

Segundo a ICA (1973) apud MULLER (1989, p.200) “a generalização é a seleção simplificada de detalhes apropriados à escala e o propósito de um mapa”. Para a aplicação dos conceitos de generalização cartográfica foi utilizado o *software ArcViewGIS 3.2*. A determinação do conteúdo de informação a ser apresentado no mapa temático está vinculada às escalas de representação utilizadas na tela do *palmtop*. Para a área adotada serão visualizadas as feições geográficas *vias*, *quadras* e *toponímia* nas escalas: 1: 5.000, 1: 10.000 e 1: 20.000. Para a escala 1:5.000 a base cartográfica apresenta as feições geográficas: *vias*, *quadras* e *toponímia* e os serviços públicos e estabelecimentos comerciais foram representados mantendo o referencial espacial. Na escala 1:10.000 foi realizada a generalização geométrica de bancos, biblioteca, bares, igrejas, museus, praças, postos de combustível, pontos de taxi, restaurantes, shoppings, terminais de ônibus e da Universidade Federal do Paraná (UFPR) e das *vias* que em função de sua classificação (coletoras e locais) foram hierarquizadas considerando a diferença de largura: 30 metros, 20 metros e inferior a 20 metros. A redução da escala dificultou a visualização das *toponímias* contidas no interior das *vias* inferiores a 20 metros, sendo estas eliminadas. As *vias* restantes (20 e 30 m) foram deslocadas, aumentando o espaço para as *toponímias* e para os símbolos pictoriais que se aglomeraram nesse processo. A aglomeração dos símbolos foi resolvida aplicando-se o processo de combinação. A escala 1:20.000 é usada para a identificação da região central de Curitiba, pois estão representadas as *vias* coletoras e as *toponímias*.

Os mapas são meio de comunicação, e os símbolos são importantes elementos característicos dos mapas sem os quais nada se compreende. O processo de comunicação cartográfica é a consideração fundamental para a determinação da simbologia adequada para o uso na tela do *palmtop*. Para a geração dos símbolos cartográficos foi utilizado o módulo *Image Editor* do *software Borland Delphi 5*, aplicando-se o conceito de variáveis visuais: tamanho, forma e tom de cor descritas por MACEACHREN (1997a, p. 17). Alguns autores desenvolveram estudos sobre o uso de símbolos pictoriais em mapas temáticos turísticos. Segundo os mesmos autores entre as classes de símbolos pontuais existentes os pictoriais são mais indicados para o mapeamento turístico, pois utilizam semelhanças com o objeto real

que representam, facilitando a comunicação com o usuário que deverá usar a legenda apenas para confirmar o resultado de sua codificação (PEREIRA, 1998, p.21).

Considerando a escala adotada, a capacidade associativa que o homem possui, e baseado nos testes realizados para projetos de símbolos cartográficos de mapas turísticos com visualização em monitor de computador, desenvolvidos por FILIPPAKOPOULOU & NAKOS (1995), MORRISON & FORREST (1995) FORREST & CASTNER (1985), BLOCK (1987) e PEREIRA (1998, P.42) foram criados símbolos pictoriais nos tamanhos: 14x14, 16x16 e 18x18 *pixels* em um monitor de 17 *polegadas*. Os símbolos de 16x16 *pixels* mantiveram a variação gráfica dentro das limitações de percepção da dimensão da tela do *palmtop*, que é de 3,5 *polegadas*. Os símbolos pictográficos foram criados baseados em convenções existentes como: a ICA- *International Cartographic Association*, ISO- *International Standart Organization*, e BTA – *British Tourist Authority*. Visando atender os objetivos propostos para a realização do trabalho e considerando as escalas utilizadas para a geração de mapas temáticos, os símbolos criados foram inseridos na base cartográfica digital gerada no *software ArcViewGIS 3.2*.

ARLETH (1999) apud ROBBI (2002, p.33) realizou experimentos para o uso e definição das cores em mapas e demonstrou que diferentes definições de cores conseqüentes dos tamanhos dos *pixmap*s (8 ou 16 bits) podem resultar em mapas totalmente diferentes, comprometendo a representação e visualização do fenômeno. O uso adequado de cores nos mapas requer pesquisas voltadas a percepção de cores para a tela dos *palmtops*.

O uso das cores em um mapa deve ser feito de forma harmoniosa, evitando combinações que produzam efeitos desagradáveis. Portanto, foram aplicados alguns testes em relação ao tom de cor para as *quadras*, as *vias* e *toponímias* com os *símbolos pictoriais* em tom de cor preto. O contraste mais visível resultou do uso de símbolos pictoriais de 16x16 *pixels*, inseridos na base cartográfica em tons de cores laranja e amarelo, com alta luminosidade, para *quadras* e *vias* respectivamente e as *toponímias* em preto.

A partir do mapa temático gerado foram aplicados testes em alunos do primeiro ano de Engenharia Cartográfica. A aplicação dos mesmos foi realizada utilizando o *software ArcView GIS 3.2* com a tela dimensionada para o tamanho do visor do *palmtop*. O primeiro teste teve como objetivo verificar a eficiência dos símbolos criados: avaliar se a mensagem decodificada pelo usuário corresponde a mensagem fixada pelo criador do símbolo. Os alunos visualizaram os 13 símbolos criados, cronometrando o tempo de identificação e anotando qual o fenômeno geográfico era representado em cada símbolo. Em seguida cronometraram o tempo de reconhecimento do significado dado aos símbolos. O segundo teste teve como objetivo o reconhecimento dos símbolos pictoriais evitando o uso da legenda. Inicialmente foi avaliado o tempo gasto para o reconhecimento do significado dado

aos símbolo e a seguir foi feita a identificação e manipulação dos mesmos no contexto do mapa.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A apresentação de mapas em *palmtops* exige diferentes soluções das encontradas para computadores *PC's*, envolvendo a aplicação da generalização cartográfica para a obtenção de uma imagem legível e o estudo do projeto de símbolos pontuais com a determinação das variáveis visuais apropriadas para representações pontuais, lineares e de área, viabilizando a consulta e atendendo as necessidades do usuário.

7 REFERÊNCIAS

ARCHELA, R. S. Correntes da cartografia teórica e seus reflexos na pesquisa brasileira. Artigo: Universidade Estadual de Londrina. 2003, p.1-11.

ARLETH, M. Problems in screen map design. In: Congresso da Associação Cartográfica Internacional – ICA, 19., Ottawa, Canadá, Aug. 1999. **Anais**. Ottawa: Canadian Institute of Geomatics, 1999, p. 849-857.

BENEVENTO, A. Computadores de Bolso e Geotecnologia. *Revista InfoGeo*, n. 22, p. 66-72, jan./fev. 2002.

BERTIN, Jacques. A neográfica e o tratamento gráfico da informação. Curitiba: UFPR. 1986, 273 p.

BLOCK, C. Testing symbols on a Dutch tourist map, scale 1:50.000. *ITC Journal*. 1987, p.67-61.

BOS, E. S. Cartographic symbol design. Lecture-notes. ITC.1984, 85p.

CAMPBELL, J. Introductory cartography. 2.ed. University of Wisconsin-Parkside. 1991, 315p.

DECANINI, M.; ROBBI, C. Projeto Cartográfico para mapas turísticos de parques: folder do núcleo Santana. In: XIV CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA. Anais Gramado, 1989, 379-406p.

DENT, B.D. Principles of thematic map design. Reading, MS: Addison-Wesley, 5th ed. 1999. p.288-308.

FORREST D.; CASTNER, H.W. The design and perception of symbol for tourist maps. *The Carographic Journal*. Vol.22, 1985. 22-30p.

JONES, C.B. *Geographical Information Systems and Computer Cartography*. 1.ed. New York, Longman, 1997, 319p.

KEATES, J.S. *Cartographic design and production*. Harlow, Grã-Bretanha: Longman, 1973, 240p.

MACEACHREN, A.M. **Some truth with maps: a primer on symbolization & design**. Washington, D.C.: Association of American Geographers, 1994a, 129p.

MACEACHREN, A.M. Visualization in modern cartography: setting the agenda. In: MacEachren, A.M.; Taylor, D.R.F. ed. **Visualization in modern cartography**. Grã-Bretanha: Pergamon, 1994b, p.1-12.

MORRISON, C. FORREST, D. A study of point symbol design for computer based large scale tourist mapping. *The Carographic Journal*. Vol.32, 1995, 126-136p.

PEREIRA, A.C.F. Aplicação do programa spring (inpe) no mapeamento de informações turísticas – o caso do município de são sebastião, litoral norte do estado de são paulo. Dissertação: Curso de Pós Graduação em Ciências Geodésicas, Universidade Federal do Paraná, 1998. 123p.

ROBBI, C. Sistema para visualização de informações cartográficas para planejamento urbano. Tese de Doutorado em Computação Aplicada. São José dos Campos: INPE, 2000.369p.

SSC – SWISS SOCIETY OF CARTOGRAPHY. *Cartographic Generalization – Topographic maps*. Swiss. 1997, 61p.

8 AGRADECIMENTOS

Para a realização deste trabalho conta-se com a orientação da Prof^ª Dr^ª Claudia Robbi Sluter e do Prof. Dr. Luis Augusto Koenig Veiga, além do suporte e cooperação das seguintes instituições: A Universidade Federal do Paraná (UFPR) através do curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas (CPGCG) colocar à disposição seus equipamentos, laboratórios e instalações;

Ao conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq – Brasil pela disponibilização de uma bolsa de estudos para auxílio financeiro.

COMPLEXO ESTUARINO DE PARANAGUÁ : ESTUDO DAS CARACTERÍSTICAS AMBIENTAIS COM AUXÍLIO DE UM SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA

Cristiane de Barcelos¹
Nátalie Henke Gruber²
Márcia Quintas³
Luciano Fernandes⁴

1 Universidade Federal do Paraná - cristianebarcelos@hotmail.com

2 Universidade Federal do Paraná - natalie.mar@terra.com.br

3 Universidade Federal do Paraná - mquintas@ufpr.br

4 Universidade Federal do Paraná - lucfel@bio.ufpr.br

RESUMO

O problema da água de lastro é uma preocupação mundial, onde medidas vêm sendo tomadas a fim de minimizar a transferência de espécies exóticas que prejudicam regiões portuárias, como o caso do Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP), situado no litoral paranaense. Água de lastro é toda água introduzida nos porões após o desembarque da carga, necessário para prover estabilidade e segurança aos navios. O objetivo principal do presente trabalho é a construção de mapas temáticos de atributos ambientais da região do CEP, aliado à geoestatística e integrado ao ambiente de Sistemas de Informações Geográficas (SIG). Para isto, um banco de dados foi construído através de um levantamento de informações publicadas por vários autores, num período de quinze anos, que compreendessem os seguintes atributos: temperatura, salinidade, clorofila, nitrogênio inorgânico dissolvido, oxigênio dissolvido, fosfato e seston. Estes foram escolhidos devido à sua importância como reguladores na distribuição de organismos em uma baía ou estuário. Os mapas temáticos foram gerados através do software Surfer[®] 7.0 pelos métodos de interpolação de kriging, vizinho mais próximo e inverso da distância à potencia e analisados individualmente. O SIG foi construído no software ArcView[®] permitindo armazenar os dados e melhorar resultados provenientes da análise geoestatística, possibilitando uma visualização da modelagem ambiental para os pontos amostrados. A análise do comportamento dos atributos é essencial para se conhecer, obter informações confiáveis das características da água nessa região e tomar providências relativas à inspeção da água de lastro, evitando assim a introdução de espécies exóticas em um novo ambiente.

Palavras – chave: CEP; SIG; Banco de Dados.

ABSTRACT

The ballast water is an international concern, where measures are being taken to minimize the transfer of exotic species that hampers port regions, as the case of Paranaguá Estuarine Complex (CEP), located on Paraná state shore line. Ballast water is all the water pumped into the tanks after the ship is unloaded, necessary to provide the stability and safety. The main objective of this project is a development of thematic maps of environmental attributes to the CEP region, combined to geostatistic and integrated into a Geographic Information Systems (GIS). In order to do so, a database was built through research of published information by many authors, for a period of fifteen years, that comprehend the following attributes: temperature, salinity, chlorophyll, dissolved inorganic nitrogen, dissolved oxygen, phosphate, seston. Those were chosen due to its importance as regulators on the organisms distributions on a bay or estuary. The thematic maps, generated on software Surfer 7.0, using kriging interpolated methods, nearest neighbor, inverse distance to a power, and analyzed individually for each individually attributes. The GIS was developed on the ArcView[®] 3.2 software, in order to store data and improve the results from the geostatistic analysis, allowing a visualization of the environmental model for the data used. The behavior analysis of these attributes are essential for knowing and obtaining trusted information of the water characteristics on these region and taken appropriate action related to the inspection of ballast water, avoiding the spread of exotic species on a new environment.

Key Words: CEP; GIS; Database.

1 INTRODUÇÃO

O Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP), situado no litoral paranaense é considerado o terceiro maior do mundo em termos de produção primária de carbono e, junto com a Serra do Mar, foi tombada pela Unesco em 1995 (CEM, 2002).

O CEP está situado ao norte da planície litorânea do Estado do Paraná, possuindo uma superfície de 601 km². Geograficamente é considerado uma baía e oceanograficamente um estuário. É subdividido em Baía de Antonina e de Paranaguá, situadas no eixo leste – oeste, e Baía das Laranjeiras, Guaraqueçaba e Pinheiros, no eixo norte – sul. São encontradas, também, algumas enseadas como as do Benito, Itaquí e Medeiros e muitas ilhas, como destaque para a Ilha do Mel, um

dos principais pontos turísticos da baía. Este faz ligação direta com o mar e sofre constantes variações de maré (CEM, 2002).

Faz parte também do CEP, o maior porto do sul do Brasil, o Porto de Paranaguá, que atua desde 1935 na exportação de grãos e farelo de soja. O porto movimentava um volume de cargas de aproximadamente 19 milhões de toneladas anualmente através de navios de todo o mundo.

Navios atualmente movem 80% das mercadorias do mundo e transferem de 3 a 5 bilhões de toneladas de água de lastro internacionalmente todo ano. Um volume semelhante pode ser transferido domesticamente entre os portos. Água de lastro é toda água introduzida nos porões após o desembarque da carga, necessário para prover estabilidade e segurança aos navios. Antigamente utilizava-se lastro sólido como pedras, areia e metal. Hoje, a água de lastro tornou-se mais econômica e eficiente que os lastros sólidos (GLOBALLAST, 2002).

O lastro torna-se um problema quando contém vida marinha, sendo o principal responsável pela introdução de organismos aquáticos nocivos ou patogênicos, causando sérios danos à economia, ao meio ambiente e à saúde. Estudos desenvolvidos em vários países comprovam que mais de 3.000 diferentes espécies podem ser carregadas pelos tanques de lastro. Entretanto, apesar da maioria não sobreviver, devido às barreiras naturais e ao meio hostil de transporte, aquelas que sobrevivem podem multiplicar-se tomando proporções epidêmicas. Como resultado, todo o ecossistema tem estado em constante mudança.

As espécies marítimas invasoras são uma das três surpreendentes ameaças do mundo oceânico. A poluição e o derramamento de óleo são outras ameaças onde melhorias podem ser feitas para recuperar os danos, porém o impacto causado por espécies marítimas, é freqüentemente irreversível (GLOBALLAST, 2002).

Nos Estados Unidos da América, a espécie europeia *Zebra Mussel Dreissena Polymorpha*, tem infestado mais de 40% dos canais internos de água e exigiu um gasto de 5 bilhões de dólares desde 1989, no controle de sua extensão. No sul da Austrália, a *Asia Kelp Undaria Pinnatifida* está acabando com as comunidades nativas do solo oceânico. No sudeste da Ásia, o *Limnoperma Fortunei* conhecido como mexilhão dourado, está se proliferando em tubulações, impedindo a distribuição de água (GLOBALLAST, 2002).

Essas e outras espécies têm sido o tema principal da Organização Marítima Internacional (IMO), junto ao Fundo para o Meio Ambiente Mundial (GEF), Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (UNDP) e a indústria de navios. Tais organizações uniram-se para apoiar o projeto intitulado “Programa de Administração Global da Água de Lastro ou Programa Globalast”.

Este programa tem como objetivo apoiar países em desenvolvimento na solução do problema da gestão de água de lastro, controlando e monitorando as espécies que prejudicam o meio ambiente e que são difíceis de extinguir. As áreas teste do projeto são: Sepetiba – Brasil (América do Sul); Dalian – China (Leste

Ásia); Mumbai – Índia (Sul da Ásia), Kharg-Island – Irã (Leste Meio Oriente); Saldanha – África do Sul (África); e Odessa – Ucrânia (Leste Europeu). Cada país elaborou seu próprio plano de trabalho, com intuito de adotar um método que tenha 95% de eficiência no controle, e que seja adequado economicamente. Para isso, cada País deve (CIÊNCIA HOJE, 2002):

- Criar um grupo interministerial para cuidar do assunto;
- Elaborar uma política nacional a respeito da introdução de espécies exóticas através da água de lastro;
- Ampliar as pesquisas sobre o problema;
- Definir e implantar normas de controle;
- Desenvolver programas de monitoramento marinho;
- Estimular a cooperação regional.

O Brasil foi escolhido como um dos países demonstrativos onde o Programa Globallast já investiu 1 bilhão de dólares. Presentemente, o Brasil concentra seus esforços no mapeamento da região portuária de Sepetiba (ver item 2.2), para melhor conhecer as inter-relações entre condições da água e espécies marinhas.

O presente trabalho visa compreender a distribuição espacial de dados pontuais (parâmetros ambientais), em superfície contínua, sendo que o resultado depende uma boa interpolação. Portanto, o mapa será satisfatório desde que haja uma escolha adequada de métodos de interpolação.

A interpolação ideal é aquela que embora ajuste mantém os dados originais de maneira confiável dentro de um limite definido pelo usuário. Os métodos de interpolação utilizados neste trabalho são: krigeagem, vizinho mais próximo e inverso da distância à potência.

Os Sistemas de Informações Geográficas permitem a visualização espacial dessas variáveis. Para tanto, dispõe-se do banco de dados, da base cartográfica digital em escala 1:50.000, do software de GIS (ArcView[®]3.1) e do software de interpolação (Surfer[®]7.0).

O software de GIS ArcView[®] 3.1 foi utilizado pela facilidade em coletar, armazenar, recuperar, transformar e visualizar dados a fim de determinar e interpretar tendências na área de estudo.

1.1 OBJETIVOS

O objetivo principal deste trabalho é criar uma metodologia de modelagem ambiental em Sistemas de Informações Geográficas (SIG), baseada em métodos de geoestatística, gerando mapas temáticos que contenham características ambientais do Complexo Estuarino de Paranaguá (CEP), permitindo uma análise espacial desses dados integrados ao ambiente SIG.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Para a construção do banco de dados foi realizado um levantamento de informações sobre a região do CEP, abrangendo os seguintes parâmetros: salinidade, temperatura, oxigênio dissolvido (OD), nitrogênio inorgânico dissolvido (NID), clorofila, fosfato e seston. Tais parâmetros foram reunidos de diferentes autores que realizaram estudos na região do CEP ao longo de quinze anos (1985 a 2000). Essas informações são de fundamental importância para a simulação das condições de vida na baía e geração de mapas temáticos.

Inicialmente, foram montadas no Microsoft Excel duas tabelas, a primeira contendo os dados ambientais de verão, para os sete parâmetros, e a segunda, contendo os dados ambientais de inverno. As estações climáticas interferem diretamente no comportamento dessas variáveis. Partindo do princípio de que inverno é a estação seca e verão a estação chuvosa, ocorre uma variação significativa dos dados em ambas as estações, por isto a necessidade desta escolha.

Estas tabelas foram então importadas para o ArcView[®], onde plotou-se os pontos na base cartográfica, gerando assim um SIG. Este por sua vez, permite consultas sobre os parâmetros ambientais em estudo, em qualquer ponto amostrado da região interna do Complexo Estuarino de Paranaguá.

Ao todo foram geradas 14 (quatorze) tabelas, todas contendo valores médios de cada parâmetro em estudo, evitando a sobreposição de pontos distribuídos ao longo do complexo e que possuam a mesma coordenada. Como muitos autores possuem valores de superfície e fundo, para os casos de temperatura e salinidade, foram usados apenas os dados de superfície, pois são os que apresentam maiores variações.

A importância do mapeamento destes parâmetros nas regiões portuárias, é tornar conhecidas as condições de cada porto, de forma que a procedência dos navios não seja mais um problema, sendo ainda possível saber se tal navio precisa de inspeção. Desta forma, torna-se fácil comparar se os organismos trazidos pela água de lastro de Sidney – Austrália, por exemplo, podem sobreviver nas condições da Baía de Paranaguá.

2.1 BASES DIGITAIS

A Base Cartográfica digital georreferenciada do litoral do Paraná utilizada para o presente trabalho, foi fornecida pelo Centro de Estudos do Mar (CEM) e contém dados digitalizados referentes à linha de costa, regiões estuarinas e costeiras, rede de drenagem, baixios, área urbana, bem como a rede viária e a divisão política dos municípios que para o interesse específico não foi necessário sua utilização. Segundo NOERNBERG (1997), este banco de dados envolve uma área que está limitada na sua parte leste pelo Oceano Atlântico e nas demais partes pelo

divisor de águas. O *datum* horizontal adotado é o SAD69, e a escala utilizada é 1:50.000.

2.2 SOFTWARE DE INTERPOLAÇÃO - SURFER®

O Surfer® 7.0 (Golden Software, Inc.), foi o software utilizado para geração das isolinhas, através do método de interpolação já citado. Este software, é um pacote de programas comerciais desenvolvidos pela Golden Software Inc., que pode ser utilizado para a confecção de mapas de variáveis a partir de dados espacialmente distribuídos. Portanto, permite uma rápida visualização do comportamento espacial da variável em estudo. A representação dos dados no espaço é essencial em diversas áreas da ciência, principalmente nas ciências naturais (UNESP, 2002).

2.3 ANÁLISE ESPACIAL

Um conjunto de procedimentos encadeados cuja finalidade é a escolha de um modelo inferencial que se ajuste aos dados e expresse o relacionamento espacial do fenômeno em estudo, define análise espacial (CÂMARA, 1995). Ou seja, incorporar o espaço à análise que se deseja fazer.

Os Sistemas de Informações Geográficas vem dando suporte as técnicas de análise espacial, permitindo a visualização espacial das variáveis. Estas técnicas exigem um conhecimento teórico de geoprocessamento e da metodologia de trabalho a ser desenvolvida.

Considerando este contexto, basta um banco de dados inferenciais e uma base cartográfica para gerar mapas de apoio à visualização espacial do fenômeno.

Para o presente trabalho utilizou-se os dados pontuais para análise de superfície.

Neste caso, foi aplicada a variação contínua a partir de estimadores de krigagem, vizinho mais próximo e inverso da distância à potência. Sendo o método escolhido para a representação final dos mapas, a Krigagem ordinária.

2.4 SOFTWARE DE GIS - ARCVIEW

ArcView® é um aplicativo que possibilita visualizar, explorar, buscar e analisar dados espaciais. Foi desenvolvido pela Environmental Systems Research Institute (ESRI), a mesma empresa que desenvolveu ArcInfo®. Este foi outra aplicação conhecida em se tratando de Sistemas de Informação Geográfica (MORETTI, 2000). O ArcView® se baseia em uma tabela Dbase, em que cada registro pode ser georreferenciado e assim associado a um elemento espacial

(pontos, linhas, polígonos). Com isso, é possível fazer o levantamento estatístico, tanto em relação aos dados da tabela como aos dados geográficos.

2.5 REPRESENTAÇÃO GRÁFICA

A partir dos mapas de isolinhas gerados, que foram ao todo 42 (quarenta e dois), 14 (quatorze) pelo método de krigeagem, 14 (quatorze) pelo método do vizinho mais próximo e 14 (quatorze) pelo método do Inverso da distância, delimitou-se uma área de corte que neste caso seria a linha de costa referente à área do complexo. Esta área estava em shapefile e sua importação para o Surfer[®] não foi simples.

Para isso foi necessário digitalizar uma área de corte no ArcView[®] e converter shapefile de linha para shapefile de pontos, usando um script do ArcView[®]. Automaticamente, esse arquivo de pontos gera uma tabela com as respectivas coordenadas (X,Y). Essa tabela foi aberta no wordpad, salva como arquivo de texto e renomeada para arquivo blank, extensão bln. Este arquivo delimita as isolinhas geradas, fazendo com que estas se limitem apenas à área de contorno da linha de costa.

Assim, gerou-se um gride, arquivo grd, para cada parâmetro referente a cada método citado acima. A apresentação visual desses mapas de isolinhas, mostra um gradiente de cores, facilitando a análise da simulação estocástica em cada mapa gerado, como pode ser verificado nos mapas apresentados no item seguinte.

A definição das cores para apresentação final dos mapas foi respeitando os padrões utilizados pela biologia.

3 ANÁLISE DE RESULTADOS

O método de interpolação escolhido para a representação final dos mapas neste trabalho, foi o método de krigeagem, pois possui uma excelente flexibilidade para interpolação, podendo interpolar grandes áreas. Este apresenta melhor precisão, mantém os valores originais e uma boa visualização dos dados em relação aos demais métodos.

O método de krigeagem gera valores interpolados que coincidem com os valores dos pontos amostrais. Permite capturar e assim representar com maior qualidade a variabilidade espacial, além de fornecer uma variância confiável aos valores interpolados, sendo possível identificar regiões que precisam ser melhoradas. O método inverso da distância à potência produz um resultado semelhante a krigeagem, porém o ponto crítico ocorre onde há agrupamento de amostras. Já o método de interpolação vizinho mais próximo é o menos expressivo em termos de variabilidade espacial, porém revela a área de influência de cada ponto de

observação. Para detectar valores amostrais suspeitos é um método excelente (Macedo, 2000).

Depois de gerados os mapas de isolinhas de cada parâmetro em estudo, foi necessário gerar um arquivo de corte (blank).

Inúmeros testes foram realizados para que a obtenção deste arquivo fosse finalizada. Infelizmente não foi possível obter o resultado esperado:

A primeira digitalização da área do complexo foi realizada de forma a obter todos os detalhes pertinentes à linha de costa. Automaticamente a tabela desse arquivo indicou um número de 172.000 pontos. Quando gerado o arquivo blank ocorreu um erro indicando um número excedente;

A segunda digitalização foi de forma grosseira, sem dar importância aos detalhes da região, a fim de obter um arquivo blank de sucesso. O número de pontos desta vez foi apenas 183 pontos. Gerou-se o gride de isolinhas e aplicamos o arquivo blank. Desta vez o corte foi efetuado com sucesso, porém o pouco detalhamento fez com que a região ficasse deformada, um pouco diferente da região do CEP que conhecemos;

A terceira digitalização foi feita com o mínimo de pontos possível, tentando não perder as feições, porém minimizando as regiões onde não existiam pontos inseridos. A tabela desta vez indicou 5.495 pontos e mais uma vez ocorreu um erro, gerando uma área de corte totalmente deformada, não condizendo com as feições reais. Utilizando o mesmo arquivo, eliminaram-se vários pontos até chegar a 1743 pontos, para que mais um teste fosse realizado e mais uma vez não houve sucesso. Reduzindo o mesmo arquivo para 990 pontos gerou-se o arquivo blank, entretanto as feições continuavam deformadas;

Uma tentativa frustrada ocorreu no autocad, onde se tentou eliminar alguns pontos anteriormente extrapolados, minimizando as feições, porém mantendo os aspectos físicos da região. Neste caso, o número de pontos chegou a 8000 e mais uma vez ocorreu um erro na geração do arquivo blank;

A idéia da montagem de um mosaico foi igualmente testada, diminuindo o arquivo de 5.495 pontos para arquivos menores de 950 pontos. Gerou-se o blank separadamente e posteriormente, fundiram-se os arquivos gerados. E mais uma vez não se obteve sucesso.

Diante destas dificuldades, procurou-se pessoas que trabalham com o software, mas infelizmente não se obteve a solução desejada.

Optou-se pela apresentação do corte descrito acima com o blank de 187 pontos: opção única no momento, porém que não preenche os objetivos definidos preliminarmente. Como pode ser visto nos mapas no seguinte, o blank gerado mostra uma região de corte diferente da região de estudo.

Na análise de dados eliminaram-se alguns pontos considerados problemáticos, para que resultado final dos mapas fosse satisfatório.

3.1 APRESENTAÇÃO DOS MAPAS GERADOS

3.1.1 Exemplos de Mapas Gerados pelo Método de Kriging

Através dos estudos de interpolação de kriging, pode-se confirmar, pelos mapas a seguir, que este método apresenta melhor visualização espacial dos pontos amostrados. As isolinhas geradas permitem identificar claramente as regiões de maior e menor variação de cada parâmetro no interior do complexo.

Os mapas também mostram um gradiente maior no período chuvoso, ou seja no verão, e um gradiente menor no período de seca, correspondente ao inverno. Percebe-se que no verão existe uma variação maior principalmente em áreas mais internas da baía.

A seguir, são apresentados os mapas gerados através deste método, onde o eixo X representa a variação da longitude e o eixo Y a variação da latitude, em graus decimais (°):

FIGURA 1: MAPA DAS ISOLINHAS DE NID DE VERÃO (°)

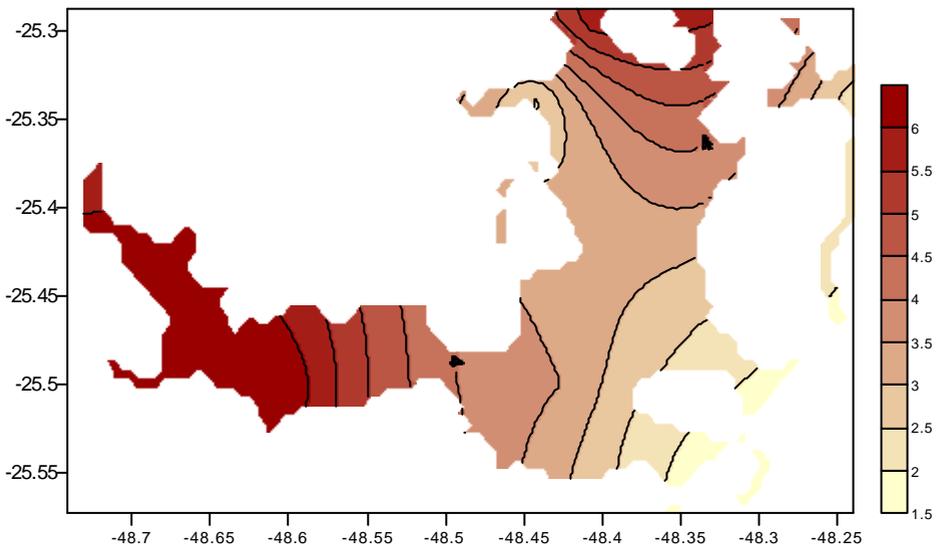
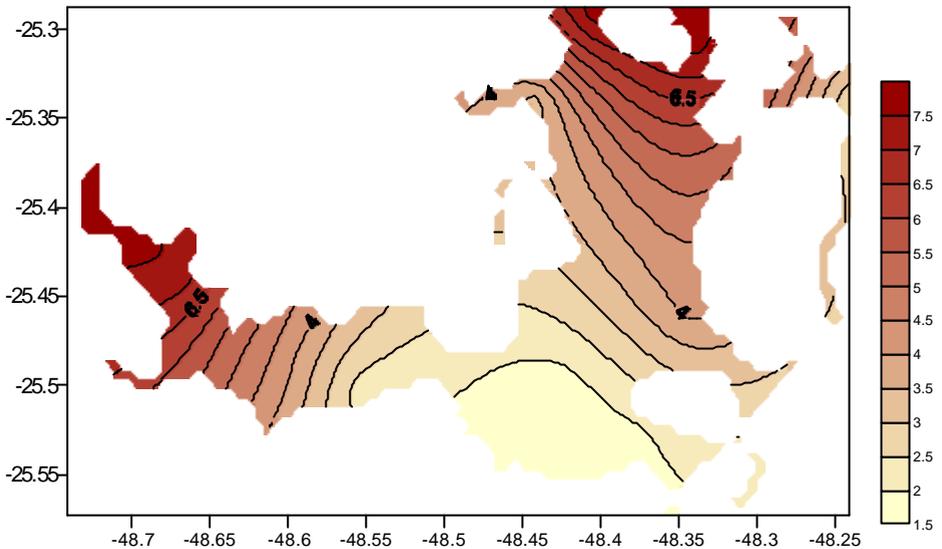


FIGURA 2: MAPA DE ISOLINHAS DE NID DE INVERNO (°)

3.1.2 Exemplos de Mapas Gerados pelo Método Vizinho Mais Próximo

Os mapas abaixo mostram que o método do vizinho mais próximo é o que pior expressa a variabilidade espacial, porém revela a área de influência de cada ponto de observação, ocorrendo uma setorização das classes dos pontos amostrados, sendo um bom método para detectar valores suspeitos.

Apesar disto, percebe-se que este, comparado aos demais métodos, mantém um mesmo padrão de apresentação dos parâmetros em estudo, porém é o menos expressivo.

O eixo X representa a variação da longitude e o eixo Y a variação da latitude, em graus decimais (°):

FIGURA 3: MAPA DAS ISOLINHAS DE NID DE VERÃO (°)

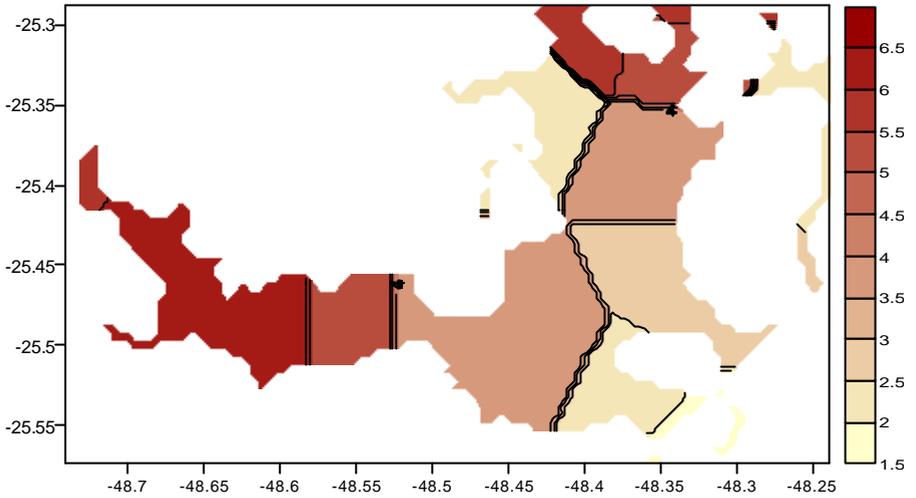
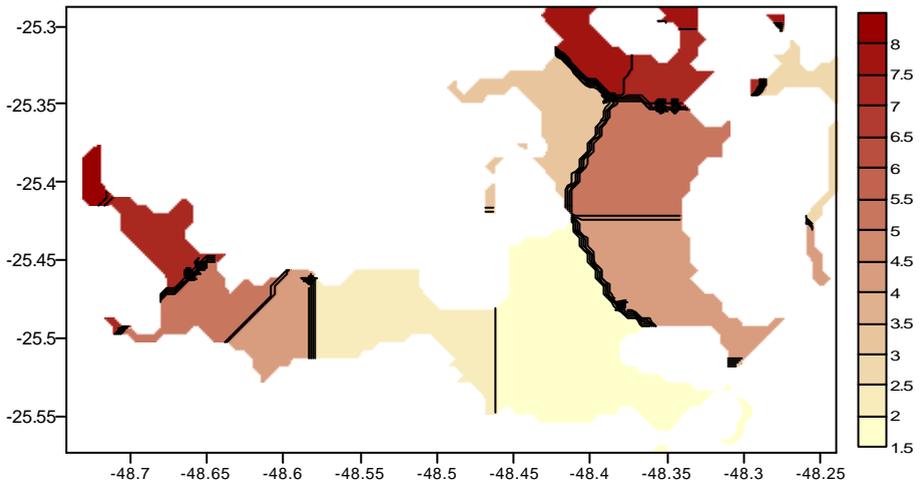


FIGURA 4C



3.1.3 Mapas Gerados pelo Método Inverso da Distância À Potência

No método da distância à potência, os mapas apresentam problemas onde existem agrupamentos de amostras, onde as isolinhas são representadas de forma concentrada e não distribuídas suavemente ao longo do complexo. Ou seja, como se existissem apenas amostras em um determinado lugar. A apresentação visual deste método não mostra claramente os objetivos impostos pelo trabalho, dificultando, por exemplo, a visualização das áreas de maior concentração de clorofila das áreas de menor concentração.

A seguir, são apresentados os mapas gerados através deste método, onde o eixo X representa a variação da longitude e o eixo Y a variação da latitude, em graus decimais (°):

FIGURA 5: MAPA DAS ISOLINHAS DE NID DE VERÃO (°)

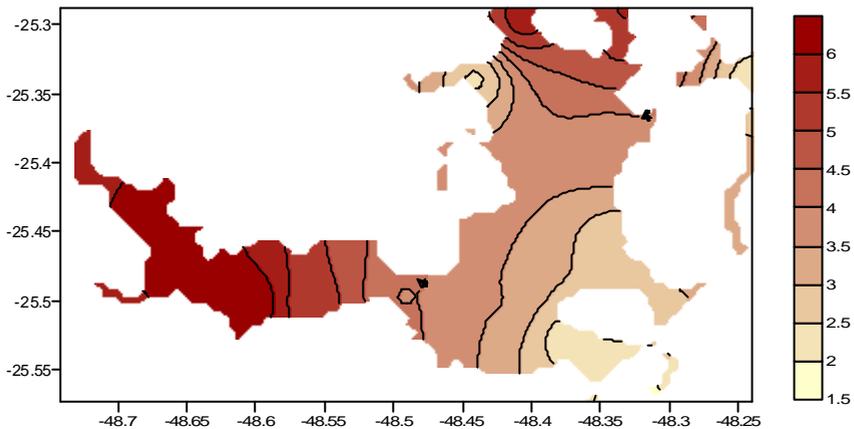
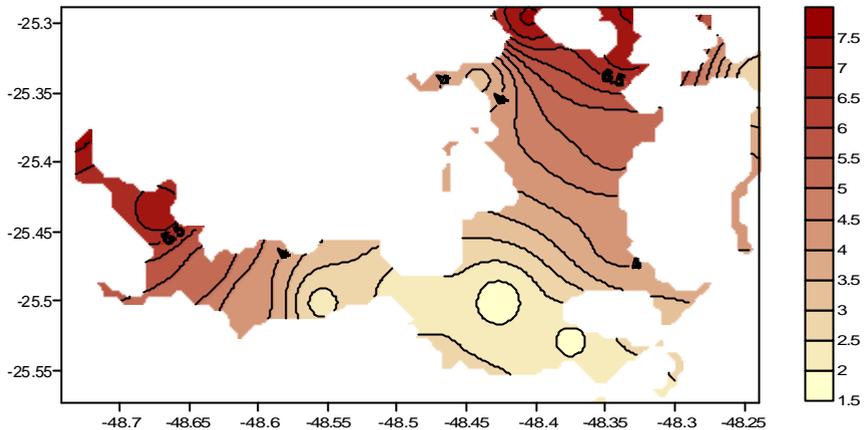


FIGURA 6: MAPA DE ISOLINHAS DE NID DE INVERNO (°)

4 DISCUSSÃO

A escolha do tema foi baseada no projeto realizado no porto de Sepetiba apoiado pelo Programa Globallast. Visto a importância do monitoramento e controle da água de lastro em regiões portuárias, realizou-se um levantamento de alguns parâmetros ambientais na região do CEP, visando a construção de um SIG. Permitindo, desta forma a visualização do comportamento destes parâmetros no interior do complexo.

A impossibilidade da geração das isolinhas utilizando os métodos de interpolação citados, através do software ArcView[®], fez com que a utilização de um software de interpolação fosse necessária. Neste caso, geraram-se mapas de isolinhas no Surfer[®] e logo exportados para o ArcView[®] (ANEXO 02), gerando um SIG contendo parâmetros ambientais. Porém, como já foi destacado no item 4, houve muitas dificuldades para chegar no resultado final, não sendo possível apresentar os mapas de isolinhas no ArcView[®], pois na exportação dos mapas os atributos eram perdidos não sendo possível mostrar o gradiente de cores com as variações dos parâmetros ao longo da baía. Portanto, os mapas foram apresentados e analisados de forma simples pelo Surfer[®].

A análise dos dados permitiu visualizar o método de interpolação que melhor representou os parâmetros ambientais em estudo. Neste caso pode-se perceber que o método de kriging é o que apresenta com maior qualidade a variabilidade espacial dos pontos amostrados, mostrando de forma suave as isolinhas geradas. No inverno e no verão a análise espacial apresenta padrões diferentes, podendo-se distinguir claramente a época de seca da época chuvosa.

5 CONCLUSÃO

As informações que compõem um banco de dados devem ser confiáveis de maneira que o resultado final seja uma representação fiel dessas informações. Daí a necessidade de reunir dados confiáveis no período de quinze anos abrangendo os parâmetros em estudo.

A apresentação final dos mapas ocorreu no Surfer® pela facilidade de visualização através do gradiente de cores mostrando o comportamento dos parâmetros em estudo ao longo do complexo. Porém o ideal seria apresentá-los no ArcView® possibilitando realizar consultas em ambiente SIG, como era o objetivo principal. Devido ao erro ocorrido na geração do blank (arquivo de corte), as isolinhas geradas pelo Surfer®, quando exportadas para o ArcView®, mostram claramente os erros ocorridos durante o processo de corte. Como pode ser visto nos mapas em anexo (ANEXO 02).

Apesar de não ter sido possível gerar em ambiente SIG as isolinhas mostrando um gradiente de cores, a nível de estudos biológicos este SIG foi satisfatório, sendo ainda possível obter informações sobre as características ambientais ao longo da região do CEP através dos pontos amostrados (ANEXO 01).

A análise de resultados levou a escolha do método de kriging para a representação final dos mapas temáticos por ser o que melhor apresenta a distribuição das isolinhas, sendo fiel aos valores amostrados. Os demais métodos apresentam resultados com padrões semelhantes, porém não possuem a mesma qualidade de representação necessária à análise espacial para dados ambientais como os do presente trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAHÃO, R. L. de B. E. **Variabilidade diária do zooplâncton e de descritores ambientais no setor euhalino da baía de Paranaguá no verão e inverno de 1996**. Curitiba, 2000. 65 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas) – Setor de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Paraná.

AGÊNCIA BRASIL – ABR. **Espécies marinhas “migram” na água de lastro de navios cargueiros**. Disponível em: <http://www.radiobras.gov.br/ct/2002/materia_310502_1.htm> Acesso em: 24 out. 2002.

AGENDA 21. **O que é Agenda 21 Brasileira**. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/se/agen21/ag21bra/corpo.html>>. Acesso em: 21 nov. 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6023**: referências bibliográficas. Rio de Janeiro, 1989.

BRANDINI, F. P. Ecological studies in the bay of Paranaguá: Horizontal distribution and seasonal dynamics of the phytoplankton. **Bolm Institute Oceanographic**, São Paulo, 1985. p.139 –147.

BRANDINI, F. P. ; REBELLO, J. Variação temporal de parâmetros hidrográficos e materiais particulado em suspensão da baía de Paranaguá, Paraná (junho/87 – fev/88). **Nerítica**, Pontal do Sul, jul.1990. p. 95 – 111.

BRANDINI, F. P. ; KNOPPERS, B. A. ; THAMM, C. A. Ecological studies in the bay of Paranaguá: Same physical and chemical characteristics.

BRANDINI, N. **Variação espacial e sazonal da produção primária do fitoplâncton em relação as propriedades físicas e químicas na Baía das Laranjeiras e áreas adjacentes (Complexo Estuarino da Baía de Paranaguá – PR/BR)**. Curitiba, 2000. 85 f. Tese (Mestrado em Botânica) – Setor de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Paraná.

BRANDÃO, W. **Utilização de métodos geoestatísticos de krigagem ordinária e krigagem por indicação na interpolação de dados geoquímicos de solos**. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/curso/ser301/trabalhos/pojuca.pdf>> Acesso em: 08 mar. 2003.

BOEHS, G. **Ecologia populacional, reprodução e contribuição em biomassa de Anomalocardia brasiliana (Gmelin, 1791) (Bivalvia: Veneridae) na Baía de Paranaguá, Paraná, Brasil**. Curitiba, 2000. 201 f. Tese (Doutorado em Zoologia) – Setor de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Paraná.

BURROUGH, P. A.; MACDONNELL, R. A.; **Principles of Geographical Information Systems**. Oxford: Oxford University Press, 1998.

CÂMARA, G.; CARVALHO, M. S.; FUCKS, S. D.; MONTEIRO, A. M. **Análise Espacial e Geoprocessamento**. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/analise/index.html>> Acesso em: 15 jan. 2003.

COHEN, A. N.; WEINSTEIN, A. **The potential distribution and abundance of zebra mussels in California**. San Francisco, 1998.

CORREIA, M. D. **Comunidades incrustantes e a fauna associada em painéis experimentais na Baía de Paranaguá, Paraná, Brasil.** Curitiba, 1989. 236 f. Tese (Mestrado em Zoologia) – Setor de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Paraná.

DISARÓ, S. D. **Associações de Foraminíferos da Baía das Laranjeiras, Complexo Estuarino Baía de Paranaguá, Paraná, Brasil.** Curitiba, 1995. 76b f. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas - Zoologia) – Setor de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Paraná.

DPI / INPE. **SPRING.** Disponível em: < <http://www.dpi.inpe.br/spring/> > Acesso em: 10 mar. 2003.

EDUCAÇÃO AMBIENTAL. **Limnologia.** Disponível em: < <http://www.bio2000.hpg.ig.com.br/limnologia.htm> > Acesso em: 10 mar. 2003.

ESRI. **ArcView scripts.** Disponível em: < <http://www.esri.com> > Acesso em 18 mar. 2003.

ESTEVES, F. A. **Fundamentos de limnologia.** 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1998.

FELGUEIRAS, C. A. **Modelagem ambiental com tratamento de incertezas em Sistemas de Informações Geográficas: O paradigma geostatística por indicação.** Disponível em: < <http://www.dpi.inpe.br/teses/carlos> > Acesso em: 08 mar. 2003.

FUNPAR (2001). **Atualização da posição da linha de costa na área de influência da desembocadura da Baía de Paranaguá.** Pontal do Paraná. Convênio: APPA e CEM.

GEOCITIES. **Parâmetros da qualidade da água.** Disponível em: < <http://www.geocities.com/wwwweibull/param.htm> > Acesso em: 19 mar. 2003.

GERENCIAMENTO COSTEIRO INTEGRADO. **Programa train-sea-coast no Brasil: Capacitação de recursos humanos para o desenvolvimento de zonas costeiras na América Latina.** Disponível em: < http://www.gci.cttmar.univali.br/n1a1/programa_train_sea_coast.htm > Acesso em : 24 out. 2002.

GLOBALLAST. **Global ballast water management programme**. Disponível em: < <http://globalast.imo.org.br> > Acesso em: 10 set. 2002.

GODEFROID, R. S. **Estrutura da comunidade de peixes da zona de arrebentação da praia de Pontal do Sul, Paraná, Brasil**. Curitiba, 1997. 130 f. Tese (Mestrado em Zoologia) – Setor de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Paraná.

IBAMA. **Análise espacial**. Disponível em: < <http://www2.ibama.gov.br> > Acesso em: 10 mar. 2003.

LORENZI, L. **Composição e distribuição da macrofauna bêntica em gamboas da Baía de Paranaguá (Paraná, Brasil)**. Curitiba, 1998. 71 f. Tese (Mestrado em Zoologia) – Setor de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Paraná.

LOPES, R. M. **Distribuição espacial, variação temporal e atividade alimentar do zooplâncton no Complexo Estuarino de Paranaguá**. Curitiba, 1997. 140b f. Tese (Doutorado em Zoologia) – Setor de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Paraná.

MACHADO, E. da C.; DANIEL, C. B.; BRANDINI, N.; QUEIROZ, R. L. V. de. Temporal and spation dynamics of nutrients and particulate suspended matter in Paranguá Bay, Brazil. **Nerítica**, Curitiba, v.11, p. 17-36, 1997.

MACEDO, M.; OLIVEIRA, J.; BARBOSA, A . **Análise comparativa da espacialização do risco climático pela média ponderada, krigagem ordinária e krigagem por indicação**. Disponível em: < http://www.dpi.inpe.br/curso/ser301/trabalhos/mariza_risco.pdf > Acesso em: 11 mar. 2003.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Água de lastro**. Disponível em: < <http://www.mma.gov.br/port/sqa/projeto/lastro/program.html> > Acesso em: 26 mar. 2003.

MORETTI, E. **Curso básico de ArcView 3.1 – Apostila**. Disponível em: < <http://www.ige.unicamp.br/~Imelgaco/areview.htm> > Acesso em: 20 set. 2002.

NOERNBERG, M. A. LAUTERT, L. F. de C.; ARAUJO, A. D. de; ODRESKY, L. L. Base de dados digital do litoral paranaense em Sistema de Informações Geográficas. **Nerítica**, Curitiba, v.11, p.191-195, 1997.

OCEANOGRAFIA. **A água do mar.** Disponível em: < <http://www.angelfire.com/pq/oceanografia/amarf.htm> > Acesso em: 19 mar. 2003.

PÁDUA, H. B. de. **Temperatura (água/ar) em sistemas aquáticos.** Disponível em: < <http://www.jundiai.com.br/abrappesq/materia2.htm> > Acesso em: 10 mar. 2003.

PETROBRAS. **Projeto de estudos ambientais em áreas costeiras e oceânicas no sul do Brasil.** Sepetiba, 1996/1997

PINHEIRO, P. C. **Dinâmica das comunidades de peixes em três áreas amostrais da Ilha do Mel, Baía de Paranaguá, Paraná, Brasil.** Curitiba, 1999. 171 f. Tese (Mestrado em Zoologia) – Setor de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Paraná.

RIPSA. **Conceitos básicos de Sistemas de Informações Geográficas e Cartografia aplicados à saúde.** 1. ed. Brasília: Organização Panamericana da Saúde, 2000.

ROCHA, C. H. B. **Geoprocessamento tecnologia transdisciplinar.** 1. ed. Juiz de Fora: Ed. do autor, 2000.

RODRIGUEZ, J. L. **Análise espacial da distribuição da violência de São Paulo: 1996-1999.** Disponível em: < http://www.dpi.inpe.br/curso/ser301/trabalhos/zeluiz_violencia.pdf > Acesso em: 11 mar. 2003.

SILVA, J. S. V. da; FERNANDES, F. da C.; LARSEN, K.T.S.; SOUZA, R. C. C. L. de. **Água de lastro ameaça aos ecossistemas.** Disponível em: < <http://www.uol.com.br/cienciahoje/chmais/pass/ch188/lastro.pdf> > Acesso em: 26 mar. 2002.

SILVA, A . de B. **Sistemas de informações Georreferenciadas: Conceitos e Fundamentos.** Campinas. Ed.1^a. São Paulo. Editora Unicamp, 1999.

UNESP. **Introdução a confecção de mapas pelo software surfer[®]** Disponível em: < <http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/textodi.html> > Acesso em: 10 fev. 2003.

SOVIERZOSKI, H. H. **Estrutura temporal da comunidade macrobentônica da foz do rio Maciel, Baía de Paranaguá, Paraná.** Curitiba, 1991. 98 f. Tese

(Mestrado em Zoologia) – Setor de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Paraná.

SILVA, J. S. V. da; FERNANDES, F. da C.; LARSEN, K.T.S.; SOUZA, R. C. C. L. de. **Água de lastro ameaça aos ecossistemas.** Disponível em: < <http://www.uol.com.br/cienciahoje/chmais/pass/ch188/lastro.pdf> > Acesso em: 26 mar. 2002.

TVCULTURA. **Mar à vista.** Disponível em: < <http://www.tvcultura.com.br/aloescola/ciencias/maravista/1/1mar.htm> > Acesso em: 10 mar. 2003.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ. Centro De Estudos Do Mar. Disponível: < <http://www.cem.ufpr.br/ecoturismo/textos.htm> > Acesso em: 26 nov. 2002.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ. **Normas para apresentação de documentos científicos.** Curitiba, v.02, 2002.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ. **Normas para apresentação de documentos científicos.** Curitiba, v.06, 2002.

AGRADECIMENTOS

Ao Centro de Estudos do Mar (CEM), pela infra-estrutura e apoio às pesquisas realizadas.

Ao professor Dr. Maurício Noernberg pela atenção, pelos materiais fornecidos e pelas dúvidas esclarecidas muitas vezes via e-mail.

À professora Dr. Eunice C. Machado pela atenção e pelos dados fornecidos.

Ao professor Dr. Frederico P. Brandini pelas dicas e pelo empréstimo de material.

À professora Dr^a. Márcia Cristina Quintas pelas discussões e orientações ao longo do projeto, que serviram de incentivo para o término deste trabalho.

Ao professor Dr. Luciano F. Fernandes, pelas sugestões, discussões e orientações que foram imprescindíveis para a conclusão deste trabalho.

Aos professores Luis K. Veiga e Luciene Dellazari pela atenção dedicada.

Aos familiares pela compreensão e dedicação.

Aos colegas: Marlos H. Batista pela amizade e auxílio nas dificuldades encontradas com os softwares, Vivian O. Fernandes e Teotônio M. da Silva Filho pela ajuda com o software (Surfer).

A todas as pessoas que não foram lembradas, mas que de uma maneira ou de outra, contribuíram para a conclusão deste trabalho.

DIAGNÓSTICO DA DEGRADAÇÃO DOS RIOS DO BUGRE, TIGRE E DOS PARDOS NO MUNICÍPIO DE TRÊS BARRAS

Marcos Benedito Schimalski¹
Luiz Cláudio Fossati¹
Reinhardt Sievers¹

¹ Curso de Eng. Florestal, Universidade do Contestado, Canoinhas (SC)
mbs@cni.unc.br, lfossati@cni.unc.br, sievers@cni.uncbr

RESUMO

Os rios do Bugre, Tigre e Pardos estão no planalto norte catarinense, na microrregião de Canoinhas e mais especificamente no município de Três Barras. Município que apresentava sua economia alicerçada no extrativismo da madeira nativa e da erva-mate. Na atualidade vem se destacando nas atividades de reflorestamento e com maior ênfase a prática da agropecuária familiar de pequeno e médio porte. Esta expansão no setor primário está relacionada principalmente com a explosão demográfica identificada nas últimas décadas, e é inegável também os efeitos que a globalização para a evolução das atividades neste setor produtivo, o que vem ocorrendo de forma desordenada. Para tanto, sugere-se a criação de um comitê multidisciplinar permanente composto por vários segmentos da sociedade tresbarrense para um comprometimento no processo da gestão dos recursos hídricos. Com a identificação das áreas degradadas, elaboração de propostas de recuperação e o comprometimento da comunidade da população ribeirinha, haverá por certo uma mudança na postura do planejamento a nível municipal visando a exploração sustentável dos recursos naturais, buscando um paralelo entre o binômio ‘desenvolvimento e meio ambiente’, procurando a sustentabilidade do ecossistema. Para tanto os objetivos do projeto foram: criar e fortalecer um comitê permanente para a gestão dos recursos hídricos referente aos rios Tigre, Pardos e Bugre; fornecer parâmetros para a correta execução de projetos ambientais; disponibilizar os dados referentes aos recursos hídricos; criação do Comitê de gestão dos recursos hídricos municipais; subsidiar projetos posteriores de recuperação dos; criar um Atlas digital para disponibilização de todos os dados obtidos na pesquisa. As ferramentas principais para a obtenção dos dados referem-se a dados de Sensoriamento Remoto Orbital (Landsat 7), cartas do Mapeamento Sistemático e coleta em campo apoiada por receptores GPS (Sistema Global de Posicionamento). Todos os dados foram armazenados e ordenados em um Sistema de Informações Geográficas visando o cruzamento dos dados.

Palavras-Chave: Geociências, desenvolvimento sustentável e recuperação de áreas degradadas.

ABSTRACT

This paper presents the works developed hoping to diagnostic the degradation of the rivers Bugre, Tigre and Pardos in Três Barras city from Santa Catarina State. Were used remote sensing technical, geographic information systems and global positioning system for compilation of data base. Here are presented the methodology and the results obtained until now.

Key words: Geosciences, equilibrate development and recuperation of degraded areas.

1. INTRODUÇÃO

O planalto norte catarinense é composto por 14 municípios e foi palco no início do século XX da Guerra do Contestado. Desde então houve forte exploração madeireira principalmente das essências nativas. O modelo atual da economia baseia-se na agricultura e pecuária com plantio e exploração de florestas exóticas. Neste contexto, o remanescente de espécies nativas sofre constante pressão pelos atores citados. A prefeitura do município de Três Barras, situado no planalto norte catarinense e a Universidade do Contestado, Campus Canoinhas prevendo preservar os remanescentes e recuperar áreas degradadas executam em parceria desde o mês de julho de 2002, o projeto referente ao Diagnóstico da Degradação dos Rios do Bugre, Tigre e Pardos. O projeto tem por finalidade preservar as matas de galeria dos rios que nascem e abastecem o município.

Entre os objetivos do projeto estão a atualização e democratização das informações referentes a estes recursos naturais, bem como a implantação de um comitê para assessorar a prefeitura na execução de atividades e projetos que envolvam as áreas destes três rios.

Para a execução do projeto estão sendo utilizadas tecnologias referentes a Ciências Geodésicas (Cartografia, Sistema Global de Posicionamento – GPS e Sensoriamento Remoto) e Sistemas de Informações Geográficas (SIG). Os resultados preliminares apontam vários locais degradados, bem como possibilitam ferramentas para o zoneamento ambiental do município.

2. SENSORIAMENTO REMOTO E SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS

Segundo BRITO&CÂMARA (1998) um país de dimensões continentais, com desigualdades extremas entre regiões e grupos sociais, como é o caso brasileiro, precisa crescer economicamente, utilizando racionalmente as suas riquezas naturais, implementando o zoneamento ambiental para identificar as áreas com aptidão e com restrição. O Sensoriamento Remoto constitui-se em uma fonte confiável e precisa para obtenção de informações referentes ao meio físico, principalmente, o natural, sendo ferramenta importante na racionalização e planejamento da utilização dos recursos naturais.(GREGORY,1992).

NOVO (1997) afirma que o Sensoriamento Remoto é a utilização de sensores para a aquisição de informações sobre objetos ou fenômenos sem que haja contato direto entre eles. Os sensores são os equipamentos capazes de coletar a energia proveniente do alvo, convertendo-a em sinal passível de registro e posteriormente apresentar este registro de forma adequada a sua interpretação.

Com relação a fonte de energia os sensores podem ser classificados em passivos e ativos. Os sensores passivos detectam a radiação solar refletida que é emitida pelos objetos no solo. Os sensores ativos produzem sua própria radiação que é então refletida pelos objetos e registrada pelo sensor.

Com relação ao Sistemas de Informações Geográficas, KIMERLING (1992), define um SIG como a integração de um conjunto de configurações de programas e equipamentos computacionais para a coleta, armazenagem, estruturação, manipulação, análise e visualização de dados espaciais referenciados a um sistema de coordenadas geográficas. Isto reflete que os componentes físicos de um SIG, bem como o seu desempenho e correto funcionamento, dependerão de computadores com melhor desempenho de processamento e de pessoal qualificado para a sua operação.

Baseado nesta definição, KIMERLING (1992) e nas possíveis aplicações para um SIG, elaborou uma provável estrutura para estes sistemas. Esta estrutura, que tem por núcleo o SIG, é mostrada na Figura 06.

FIGURA 01 – ORGANOGRAMA DE APLICAÇÕES DE UM SIG



FONTE : KIMERLING (1992)

Com relação aos componentes da Figura 01, pode-se dizer que:

- *Núcleo do SIG*: são os equipamentos e programas computacionais, banco de dados e o pessoal envolvido na operação, manutenção e gerenciamento do sistema;
- *Coleção e Armazenagem dos dados*: definição dos tipos de dados necessários para satisfazer os requerimentos do sistema. As informações são extraídas a partir do banco de dados, mapas e imagens digitais, bem como quaisquer outras observações sobre a superfície terrestre;
- *Estruturação de dados*: diz respeito a adequação (uniformização) dos dados, como por exemplo, a transformação de diferentes sistemas de projeção dos mapas para o Universal Transverso de Mercator (UTM);
- *Geração de Análise*: medir, comparar e matematicamente ou estatisticamente modelar os diferentes temas dos dados de tal maneira a prever, dada uma condição, um determinado fenômeno;

- *Saída de Informações*: possibilitar a impressão dos mapas resultados obtidos pelo SIG, dados analíticos, gráficos e quaisquer outros mapas digitais inseridos no sistema;

- *Gerenciamento do SIG*: possuir pessoal qualificado no que diz respeito a manutenção do sistema, como por exemplo, atualizações dos equipamentos e programas computacionais, manutenção de senhas de acesso, atualizações das informações inseridas no SIG, entre outras.

A seguir são apresentados os materiais e métodos empregados neste projeto.

3.0 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 DEFINIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O projeto de pesquisa está sendo realizado no município de Três Barras, planalto norte catarinense em Santa Catarina.

3.2 MATERIAIS

Os seguintes materiais foram utilizados neste trabalho:

- Computador pessoal com processador matemático de 1600 Mhz, 512 Mb de memória RAM, placa de vídeo de 64 Mb e monitor tela plana de 15";
- Filmadora Sony Handycam Digital;
- Receptores de sinais GPS da marca Garmin, modelo E-trex;
- Programa Envi 3.2;
- Programa Autodesk Map 5.0;
- Aplicativo Raster (Autodesk);
- Programa Corel Draw e PhotoPaint 10.0;
- Cena 220-78, do sensor Landsat 7 adquirida em 21/07/2001;
- Carta Canoinhas em escala 1:100.000 do mapeamento sistemático brasileiro.

3.3 METODOLOGIA

A metodologia adotada para o desenvolvimento dos trabalhos de pesquisa foi composta pelas seguintes etapas:

- Processamento Digital da Imagem de Satélite;
- Delimitação da Área do Município;
- *Visitação in loco*;
- Implementação do SIG;

- Disponibilização dos Dados ao Comitê.

3.3.1 Processamento Digital da Imagem de Satélite

Para adquirir informações referentes ao meio físico do município de Três Barras, foi utilizada uma cena do satélite Landsat 7. Para obter a resolução espacial de 15 metros, optou-se pela fusão das bandas 5,4 e 3 com a banda pancromática (banda 8). A técnica empregada foi a IHS (intensidade, saturação e tonalidade).

Com auxílio dos limites municipais fornecidos pelo IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) a imagem foi editada eletronicamente, de tal maneira a se obter o recorte do município. Ao final deste processo foi disponibilizada a carta imagem falsa-cor de toda a área municipal. Para realizar estas atividades foi utilizado o programa Envi 3.2.

3.3.2 Delimitação da Área do Município

A base cartográfica mais atualizada do município provém do mapeamento sistemático do IBGE em escala 1:100.000 . Este mapa foi gerado a partir de aerofotos obtidas em 1966.

Como a informação de interesse a ser obtida a partir desta fonte diz respeito a altimetria e ao traçado dos rios, foi implementada a rasterização do mapa Canoinhas utilizando-se um escaner de grande formato. Com auxílio do Autodesk Map 5.0 e do aplicativo Raster, procedeu-se a delimitação e recorte digital da área municipal. Este produto passou por processo de eliminação de ruído (noise) utilizando ferramenta específica do programa Raster.

3.3.3 Visitas em Campo

Visando determinar o estado atual das matas de galerias, foram realizadas visitas em todo o percurso de cada um dos três rios. Os locais degradados foram georeferenciados utilizando-se receptores de sinais GPS, do tipo de navegação. Outra informação adicional coletada foi a imagem digital do local degradado para a composição do banco de dados digital do SIG.

Outra atividade desenvolvida no campo foi a amostragem para a classificação supervisionada da imagem satelital.

3.3.4 Disponibilização dos Dados

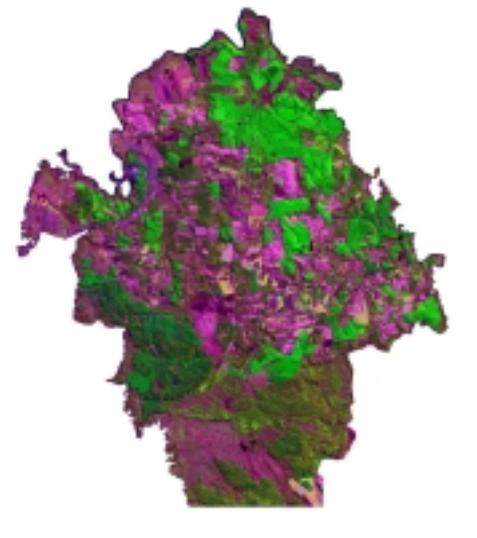
Os dados preliminares obtidos no SIG foram entregues ao Comitê responsável pelo gerenciamento dos rios municipais e serão empregados a partir do 2º semestre de 2003 para auxiliar na elaboração de projetos e de atividades por parte do comitê.

4.0 RESULTADOS

Como está sendo aguardado o posicionamento do comitê a respeito dos dados e da continuidade das atividades são apresentados abaixo os resultados preliminares do projeto de pesquisa:

- A carta imagem do município fornece subsídios para a delimitação das áreas de mata ciliar (limitado a resolução de 15 m). Inclusive será um instrumento utilizável para a realização do zoneamento ambiental. A figura 02 ilustra a carta imagem de Três Barras.

FIGURA 02 - CARTA IMAGEM DE TRÊS BARRAS



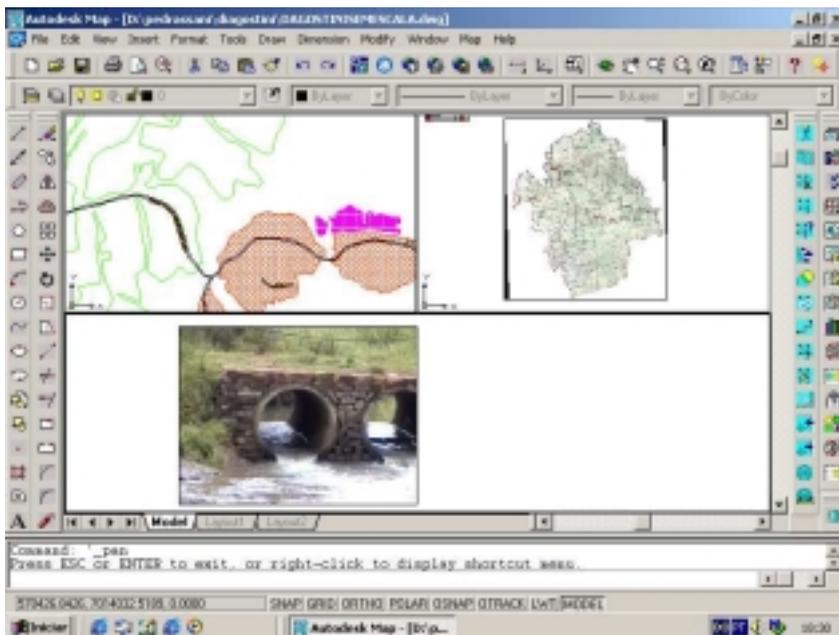
- As informações provenientes da carta do IBGE foram utilizadas para extração da informação altimétrica no município, bem como, auxiliar na determinação do traçado dos rios do Bugre, Tigre e Pardos. A partir da informação altimétrica foram obtidas as cartas de declividade, hipsometria e exposição de vertentes. A figura 03 apresenta o recorte da carta de Canoinhas.

FIGURA 03 – RECORTE DO MUNICÍPIO OBTIDO A PARTIR DA CARTA DO IBGE



- O SIG foi implementado no programa Autodesk Map 5.0 e apresentou várias facilidades, principalmente, aquelas relacionadas a ligação do banco de dados com a base cartográfica. Posteriormente, as informações contidas no SIG serão disponibilizadas na forma de um Atlas digital do município. A figura 04 apresenta a interface do programa utilizado.

FIGURA 04 – INTERFACE DO PROGRAMA AUTODESK MAP



5.0 CONCLUSÕES

A partir dos resultados preliminares encontrados conclui-se que:

- A análise aprofundada das informações coletadas, apoiadas na legislação florestal vigente, mostrará que grande parte das matas ciliares apresenta algum tipo de degradação;
- Além da degradação vegetal destes remanescentes, pode ser observada a agressão ao recurso hídrico, através do despejo de esgoto doméstico e industrial;
- A ausência dos corredores naturais, representados pela mata ciliar, colocam em risco a fauna e flora regional;
- Os dados obtidos possibilitarão a criação de um Atlas municipal digital que poderá ser utilizados por todas as escolas situadas no município de Três Barras.

6.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRITO, Francisco A. ; CÂMARA, João B.D. . **Democratização e Gestão Ambiental**. Petrópolis: Vozes, 1998.

GREGORY, K.J. **A Natureza da Geografia Física**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1992.

KIMERLING, A. JON . **Basic Cartography for Students and Technicians**. Londres: Butterworth and Heinemann, 1992, vol. 3.

NOVO, Evlyn M.L. de Moraes. **Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações**. São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 1992. 2ª edição.

ESTUDO COMPARATIVO DE MÉTODOS DE COMPRESSÃO DE MODELOS DE TERRENOS DIGITAIS ATRAVÉS DE SUPERFÍCIES TRIANGULARES

Oliver Matias van Kaick¹
Hélio Pedrini²

1 Universidade Federal do Paraná – oliver@pet.inf.ufpr.br

2 Universidade Federal do Paraná – helio@inf.ufpr.br

RESUMO

Com o crescimento de diversos campos do conhecimento em geoprocessamento, torna-se cada vez mais importante a visualização e armazenamento de grandes volumes de dados, representando terrenos. Para esse fim, são necessárias técnicas de compactação e representação mais eficientes, das quais uma muito utilizada é a representação por meio de superfícies poligonais, comumente formadas por um conjunto de triângulos. O propósito deste trabalho é descrever os principais métodos encontrados na literatura para a construção de malhas triangulares e realizar uma comparação entre eles. São apresentados métodos baseados em triangulações regulares, irregulares, e com subdivisão hierárquica. Várias amostras de imagens de terrenos são aproximadas utilizando os métodos estudados, e é comparada a qualidade dessas aproximações, o tempo de execução necessário para a construção das triangulações, e o número de pontos utilizado por cada método para a construção da malha, segundo uma certa taxa de erro.

Palavras-chave: Superfícies Poligonais; Malhas Triangulares; Modelagem de Terrenos.

ABSTRACT

Due to the increase of several knowledge fields in geosciences, it becomes more and more important the visualization and storing of great volumes of data, representing terrains. For this purpose, it is fundamental the use of efficient compression and modeling techniques, such as the representation by means of polygonal surfaces, commonly formed by a set of triangles. The purpose of this work is to describe and compare the main methods encountered in literature for constructing triangular meshes. Regular, irregular, and hierarchical subdivision triangulation methods are

presented. Several terrain data sets are approximated using the studied methods. The quality of the approximations, execution time required for the triangular mesh construction, and the number of points used for each method, according to a tolerance ratio, are compared.

Keywords: Polygonal Surfaces; Triangular Meshes; Terrain Modeling.

1. INTRODUÇÃO

Técnicas recentes de aquisição de imagens multiespectrais têm permitido a representação de dados de terreno em resoluções cada vez mais altas. A utilização de estratégias eficientes para armazenamento, manipulação e visualização dos dados torna-se indispensável, particularmente quando a aplicação requer que as informações sejam processadas em tempo real. Exemplos de domínios de aplicações envolvendo grandes volumes de dados incluem sensoriamento remoto, sistemas de informação geográfica, exploração planetária, realidade virtual e visão computacional.

Uma técnica comum para aproximação de superfícies utiliza uma malha poligonal, normalmente representada por um conjunto de triângulos. Tal malha é composta por um conjunto de pontos de elevação representativos da superfície e por um conjunto de triângulos, cuja união resulta em uma malha cobrindo todo o modelo original. Através dessa malha e um processo de interpolação, pode-se determinar o valor de todos os pontos do terreno original, segundo uma determinada tolerância máxima de erro, definida durante o processo de construção da malha. Dependendo da taxa de erro estabelecida, o número de pontos e triângulos utilizados para a representação da malha pode variar. Para uma taxa de erro baixa, o número de pontos e triângulos pode ser muito alto. No entanto, esse fator não depende apenas da tolerância estabelecida, mas também do modelo de malhas triangulares utilizado.

Existem inúmeros métodos de construção de malhas triangulares, os quais podem gerar modelos apresentando diferentes conjuntos de pontos e triângulos, porém, com a mesma tolerância de erro. Esses modelos podem, basicamente, pertencer a três conjuntos diferentes: malhas regulares trianguladas, malhas com subdivisão hierárquica e malhas irregulares trianguladas.

Este trabalho apresenta um estudo comparativo dos principais modelos de representação de superfícies de terrenos. Para esse fim, foram construídas malhas triangulares utilizando tais modelos, e as aproximações geradas foram comparadas sob vários aspectos quantitativos: número de pontos e triângulos utilizados segundo uma certa tolerância de erro pré-estabelecida; taxa de erro alcançada segundo um determinado número máximo de pontos que pode ser utilizado; tempo de execução requerido por cada método. Para a avaliação da taxa de erro, foram utilizadas

algumas métricas comumente utilizadas para avaliação da qualidade de uma aproximação em relação ao modelo original, como por exemplo, o erro máximo, a raiz do erro quadrático médio e o pico da relação sinal-ruído. Para a comparação das métricas, os diferentes métodos foram aplicados a um conjunto de imagens de terrenos apresentando topografia diversa, incluindo regiões planas, montanhosas e mistas.

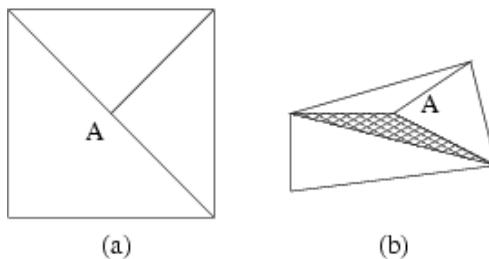
Este trabalho está estruturado da seguinte maneira. A seção 2 descreve os principais métodos de construção de malhas triangulares, bem como as principais características das triangulações geradas. A seção 3 descreve os resultados das comparações entre os métodos, mencionando quais os métodos mais eficientes. Finalmente, a seção 4 apresenta as conclusões.

2. MÉTODOS DE TRIANGULAÇÃO

Basicamente, o que todos os métodos fazem é inserir pontos, conforme o seu modelo de triangulação, até que o erro máximo da aproximação esteja abaixo do valor requisitado, ou até que o número de pontos requerido seja inserido. O número de pontos utilizados não depende apenas da precisão especificada, mas também do modelo de malha utilizado.

Por mais diferente que seja o modelo utilizado, as malhas devem possuir continuidade C^0 , isto é, a borda de um triângulo, que não é uma borda do terreno, deve estar conectada à borda de outro triângulo. Dessa forma, superfícies sem falhas (*cracks*), como a vista na figura 01, são evitadas.

FIGURA 01 - PROBLEMA QUE PODE OCORRER EM UMA TRIANGULAÇÃO: (a) VISÃO 2D; (b) VISÃO 3D.



Um terreno é armazenado na forma de uma imagem digital, representada por uma função discreta, denotada $f(x,y)$, que fornece um valor associado para cada ponto bidimensional. As dimensões da imagem são denotadas M e N , e a função retorna até L valores diferentes ($0 \leq f(x,y) < L$). A aproximação é denotada $g(x,y)$, e possui as mesmas dimensões que a imagem original.

Para verificar se a aproximação satisfaz o erro desejado, a cada inserção de pontos, normalmente utiliza-se a métrica do erro máximo (ME), uma vez que é rápida de ser calculada. Essa métrica representa a maior diferença absoluta entre a imagem original e a nova imagem.

$$ME = \max |f(x, y) - g(x, y)| \quad (01)$$

com $(0 \leq x < M)$ e $(0 \leq y < N)$

Para verificar a qualidade final das aproximações geradas, são utilizadas métricas mais adequadas para a avaliação global, calculadas apenas no final da construção das triangulações, por serem mais custosas. Duas métricas que podem ser utilizadas são a raiz do erro quadrático médio (RMSE) e o pico da relação sinal-ruído (PSNR). Quanto menor o valor fornecido pelo RMSE, melhor é a aproximação gerada. Já para a métrica PSNR, a aproximação é melhor quanto maior o valor fornecido, que é medido em *decibel* (dB).

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{MN} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} [f(x, y) - g(x, y)]^2} \quad (02)$$

$$PSNR = 10 \log_{10} \left(\frac{MNL^2}{\sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} [f(x, y) - g(x, y)]^2} \right) \quad (03)$$

Nas seções seguintes são descritas as três principais categorias de métodos existentes para a construção de triangulações.

2.1. REGULAR

O método regular consiste em utilizar pontos do terreno que estão separados por um intervalo especificado. Os pontos vizinhos são unidos e é construída uma triangulação, como a vista na figura 04 (b). Ao invés de atribuímos a cada ponto escolhido o seu valor original, podemos atribuir-lhe um valor que represente a média ou mediana de uma pequena região quadrada do terreno, de forma que o ponto represente melhor a região à qual pertence.

Como essa abordagem tende a ser custosa, uma alternativa é primeiramente aplicar um filtro de passa-baixa à imagem (Hamming, 1983), para que possíveis ruídos possam ser eliminados. Assim, quando os pontos forem selecionados, simplesmente tomando-os a intervalos uniformes, não serão escolhidos pontos desfavoráveis para a aproximação.

2.2. SUBDIVISÃO HIERÁRQUICA

Os métodos de subdivisão hierárquica aproximam a imagem original através de uma divisão recursiva de uma superfície. As regiões da imagem que devem ser melhor aproximadas, porque possuem mais detalhes, podem ser subdivididas um maior número de vezes que as regiões menos detalhadas.

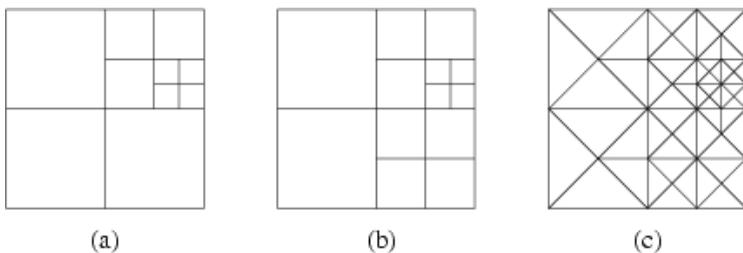
Dos métodos de subdivisão hierárquica, um dos mais conhecidos e utilizados é o *quadtree*, em que cada superfície é subdividida em quatro novas superfícies quando necessário. Este é um método já conhecido do campo de processamento de imagens (Schalkoff, 1989), (Sonka *et al.*, 1993), utilizado para compactação ou visualização de imagens em vários níveis de resolução.

Ao se utilizar o método *quadtree* para criar uma malha triangular, é necessário encontrar uma forma correta de triangular as superfícies subdivididas, pois se apenas dividirmos as superfícies quadradas em triângulos, poderão aparecer falhas.

Para a correta triangulação, foi proposta a *quadtree* restrita (Herzen & Barr, 1987), (Floriani *et al.*, 1996), (Pajarola *et al.*, 2002), que é triangulada segundo uma restrição nos níveis de subdivisão. Primeiramente, a *quadtree* corrente, vista na figura 02 (a), deve ainda ser dividida até que fique como em (b): duas superfícies vizinhas da *quadtree* não devem diferir em mais que um nível; isto é conhecido como a *propriedade da quadtree restrita*.

Posteriormente, a *quadtree* é triangulada da seguinte maneira: para cada lado da superfície, se o vizinho possuir um nível maior, são criados dois triângulos. Se o vizinho possuir o mesmo nível, ou um nível menor, é criado apenas um triângulo. Dessa maneira, cada superfície será triangulada de quatro a até oito triângulos, como visto na figura 02 (c).

FIGURA 02 – TRIANGULAÇÃO *QUADTREE* RESTRITA.



2.3. IRREGULAR

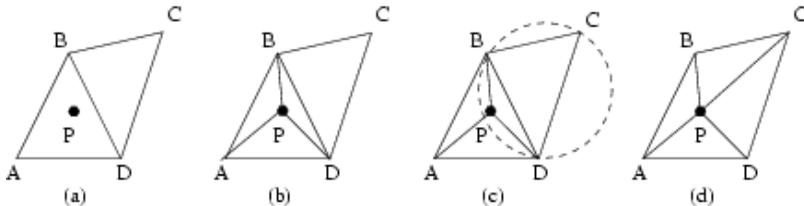
Para as triangulações irregulares, qualquer ponto pode ser escolhido para ser um vértice da triangulação, dessa maneira, as malhas construídas podem ser mais livres

e, assim, tendem a utilizar menos pontos. Exemplos desse tipo de triangulação podem ser vistos nas imagens (d), (e) e (f) da figura 04.

Um dos métodos para construir uma malha irregular é o incremental, que inicia com uma aproximação baseada em apenas dois triângulos que cobrem o terreno inteiro e, depois, insere a cada iteração o ponto onde o erro avaliado é maior. O método termina quando o número máximo de pontos foi inserido, ou a precisão desejada foi alcançada (Garland & Heckbert, 1995).

Quando um novo ponto é inserido, é necessário refazer a triangulação no local. É verificado a qual triângulo o ponto pertence, e são criadas novas arestas, formando assim novos triângulos, estendendo-as dos vértices do triângulo no qual o ponto está inserido, até o ponto em questão. O processo é visto na figura 03: em (a) o ponto P é inserido. Em (b) são criadas novas arestas a partir dos vértices do triângulo com o ponto P , formando três novos triângulos.

FIGURA 03 – RETRIANGULAÇÃO.



Pode ser requerido que a triangulação construída satisfaça alguma propriedade desejada. Para reajustar as triangulações para respeitar a propriedade, podemos trocar a diagonal dos quadriláteros aos quais os novos triângulos pertencem.

A triangulação de Delaunay pode ser utilizada como requisito, pois possui a propriedade de construir os maiores triângulos possíveis, todos aproximadamente equiláteros (O'Rourke, 1993), o que é desejável, pois assim são evitados problemas de interpolação e artefatos visuais. Uma diagonal é trocada se mais de três pontos pertencem ao interior da circunferência que passa pelos três vértices de um novo triângulo. Um exemplo desse processo pode ser visto na figura 03: em (c) é verificado que o ponto P pertence ao interior da circunferência. Então, a diagonal do quadrilátero que contém os pontos é trocada em (d).

No caso de ser utilizada uma triangulação diferente da Delaunay, algum teste também pode ser realizado depois da criação dos novos triângulos, para que as propriedades requeridas continuem existindo. Por exemplo, no caso da triangulação denominada de *dependente dos dados*, uma diagonal só será trocada por outra se com esta mudança o erro máximo no local diminuir.

O outro método para a construção de triangulações irregulares é o baseado em extração de características (Heckbert & Garland, 1997), que primeiramente

seleciona um conjunto de pontos da imagem original, pontos considerados importantes para a aproximação, e depois cria uma malha triangular a partir deles, podendo ser uma triangulação de Delaunay.

Primeiramente, deve ser atribuído um valor de importância a cada ponto. Este valor pode ser, por exemplo, a curvatura do ponto, calculada utilizando um filtro Laplaciano, ou alguma outra característica considerada adequada. Depois, os principais pontos são selecionados para construir a triangulação.

Uma abordagem possível é escolher os pontos de maior importância, mas eliminar os pontos muito próximos uns dos outros. Outras abordagens adotadas são a distribuição do peso dos pontos segundo algum algoritmo conhecido, como por exemplo *Floyd-Steinberg*, utilizado em (Yang *et al.*, 2001), ou a distribuição dos pontos segundo uma certa densidade, como em (Pedrini, 2001).

3. COMPARAÇÕES ENTRE OS MÉTODOS

A seguir são comentados os testes realizados. Para a comparação foram utilizadas duas variantes dos métodos de triangulação regular: o método regular simples e o que atribui a média de uma região quadrada a cada ponto. Foram comparados ainda o método *quadtree*, e os métodos irregulares utilizando a construção incremental, com a triangulação de Delaunay e a *dependente dos dados*, e a construção por extração de características, selecionando os pontos pela curvatura, e distribuindo-os por densidade e pelo algoritmo de *Floyd-Steinberg*.

As triangulações geradas pelos diversos métodos podem ser vistas na figura 04.

Para a realização das comparações, os métodos foram aplicados a diversas amostras de terrenos, apresentando topografias diversas. A verificação de quais foram os melhores métodos foi realizada com base no número de pontos utilizados, o tempo de processamento, e a comparação entre as imagens originais e as aproximações, segundo as métricas anteriormente descritas: RMSE e PSNR.

Foram executados dois tipos de comparações entre os métodos. Para a primeira comparação foi construída uma triangulação para cada método, segundo uma certa porcentagem de pontos da imagem original. Para a segunda comparação, as triangulações foram construídas segundo uma certa taxa de erro a ser alcançada. A taxa de erro utilizada como parâmetro foi uma certa porcentagem do valor máximo permitido para um ponto da imagem.

Os experimentos foram realizados em um computador *PC Pentium III 866MHz*, com *1GByte* de memória e sistema operacional *Linux*. Para a obtenção do tempo de execução de construção da malha triangular, foi utilizado o comando de sistema *time*, que retorna o tempo utilizado em segundos.

Gráficos com os resultados obtidos para duas imagens de teste, denominadas de *emory peak* e *cape flattery*, são apresentados nas figuras 05 a 14. Os gráficos das figuras 05 a 08 e 11 a 14 representam as aproximações geradas por taxas de erro

especificadas, e as figuras 09 e 10 as aproximações por número de pontos utilizados, nesse caso apenas para a imagem *emory peak*.

O método regular simples e o método que atribui a média de uma região a um ponto são chamados respectivamente de **Reg** e **RegMean** nos gráficos. O método irregular utilizando a triangulação de Delaunay é chamado de **Delaunay**, enquanto que o *dependente dos dados* é denominado **DataDep**. Os métodos irregulares por extração de características foram chamados de **FISt**, quando a distribuição é realizada por *Floyd-Steinberg*, e **Dens**, quando é realizada por densidade. Esses dois métodos não foram comparados nas aproximações por taxas de erro, uma vez que é necessário saber previamente o número de pontos que devem ser utilizados.

Pode ser observado que, apesar dos métodos que constroem a malha conforme o erro máximo respeitarem uma certa taxa de erro especificada, a qualidade das triangulações geradas diferiu muito de um método para outro.

O método irregular, utilizando a triangulação de Delaunay, foi o que obteve os melhores resultados, utilizando poucos pontos, e apresentando um tempo de execução baixo. Já o método irregular utilizando a triangulação *dependente dos dados* apresentou um alto tempo de execução, e as aproximações geradas não foram satisfatórias, mesmo utilizando um grande número de pontos.

Os métodos baseados em extração de características também não obtiveram resultados muito satisfatórios para diversas imagens, entretanto, o tempo de execução desses métodos não foi muito alto.

O método *quadtree* obteve melhores resultados que todos os outros, inclusive o irregular por Delaunay, em várias aproximações por taxas de erro, no entanto, o número de pontos utilizados por esse método foi muito maior do que o necessário por todos os outros métodos. Quando limitado o número de pontos, as melhores aproximações foram sempre do método irregular por Delaunay.

Os métodos regulares, como esperado, obtiveram as aproximações menos satisfatórias, mas também foram os que utilizaram menos pontos nas aproximações por erros, como visto nos gráficos de pontos utilizados. O tempo de execução desses métodos também foi baixo.

Os resultados com as imagens de teste foram muito semelhantes uns aos outros, existindo certas variações nos tempos de execução. Também houve variações na qualidade das aproximações geradas, no entanto, não houve nenhuma diferença drástica entre um resultado e outro. Os métodos mais satisfatórios foram sempre aqueles pertencentes à mesma categoria, e os menos satisfatórios também.

4. CONCLUSÕES

O propósito deste trabalho foi realizar uma série de comparações entre os principais métodos existentes para a construção de malhas triangulares, com o fim de representar terrenos. As comparações possibilitaram a distinção clara de quais

métodos são mais eficientes para a aproximação de terrenos, o método irregular por Delaunay e o método *quadtree*, e quais os menos eficientes, os métodos regulares e os métodos irregulares *dependentes de dados* e por extração de características.

5. REFERÊNCIAS

FLORIANI, L. D.; MARZANO, P.; PUPPO, E. Multiresolution models for topographic surface description. **The Visual Computer**, v. 12, n. 7, p. 317-345, 1996.

GARLAND, M.; HECKBERT, P. S. **Fast polygonal approximation of terrains and height fields**. Relatório Técnico. CMU-CS-95-181, 1995.

HAMMING, R. W. **Digital Filters**. Englewood Cliffs, Estados Unidos: Prentice-Hall, 1983.

HECKBERT, P. S.; GARLAND, M. **Survey of polygonal surface simplification algorithms**. Relatório Técnico. 1997.

HERZEN, B. V.; BARR, A. H. Accurate triangulations of deformed, intersecting surfaces. **ACM Journal Computer Graphics**, v. 4, p. 103-110, 1987.

O'ROURKE, J. **Computational Geometry in C**. Cambridge, Reino Unido: Cambridge University Press, 1993.

PAJAROLA, R.; ANTONIJUAN, M.; LARIO, R. QuadTIN: Quadtree based triangulated irregular networks. **In Proceedings IEEE Visualization**, p. 395-402, 2002.

PEDRINI, H. Modeling dense range images through fast polygonal approximations. **In Proceedings of 11th International Conference on Image Analysis and Processing (ICIAP)**. Palermo, Itália: IEEE Computer Society Press, p. 448-453, 2001.

SCHALKOFF, R. J. **Digital Image Processing and Computer Vision**. John Wiley & Sons, Inc, 1989.

SONKA, M.; HLAVAC, V.; BOYLE, R. **Image Processing, Analysis and Machine Vision**. Cambridge, Reino Unido: Chapman & Hall, 1993.

YANG, Y.; WERNICK, M. N.; BRANKOV, J. G. A fast adaptive accurate content-adaptive mesh generation. **In Proceedings of IEEE International Conference on Image Processing**, p. 868-871, 2001.

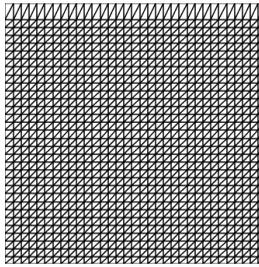
6. AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer ao Programa Especial de Treinamento (PET) do Departamento de Informática da Universidade Federal do Paraná. As imagens de terrenos foram gentilmente cedidas pelo *United States Geological Survey* e pelo *Nasa's Planetary Data System*.

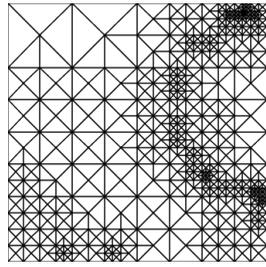
FIGURA 04 – PRINCIPAIS MODELOS DE TRIANGULAÇÃO.



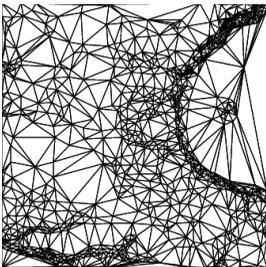
(a) Terreno original



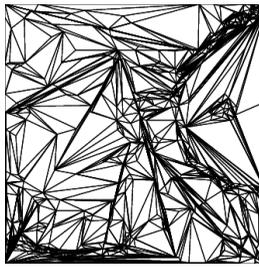
(b) Regular



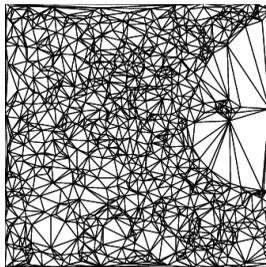
(c) *Quadtree*



(d) Irregular por Delaunay



(e) Irregular *dependente dos dados*



(f) Irregular por extração de características

FIGURA 05 – RMSE PARA APROXIMAÇÕES DA IMAGEM *EMORY PEAK*, VARIANDO AS TAXAS DE ERROS.

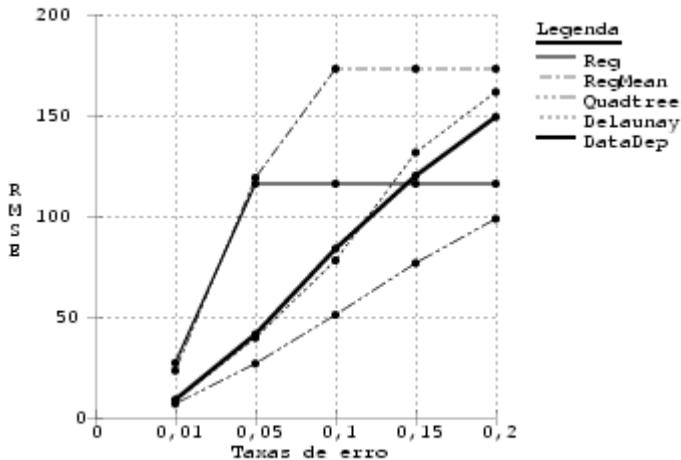


FIGURA 06 – PSNR PARA APROXIMAÇÕES DA IMAGEM *EMORY PEAK*, VARIANDO AS TAXAS DE ERROS.

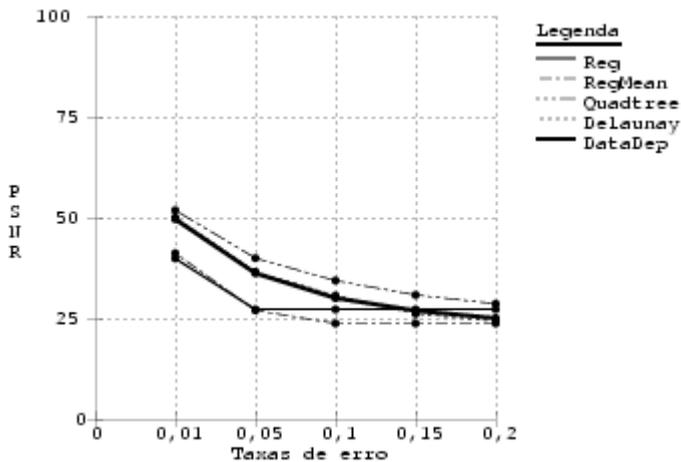


FIGURA 07 – PONTOS UTILIZADOS POR APROXIMAÇÕES DA IMAGEM *EMORY PEAK*, VARIANDO AS TAXAS DE ERROS.

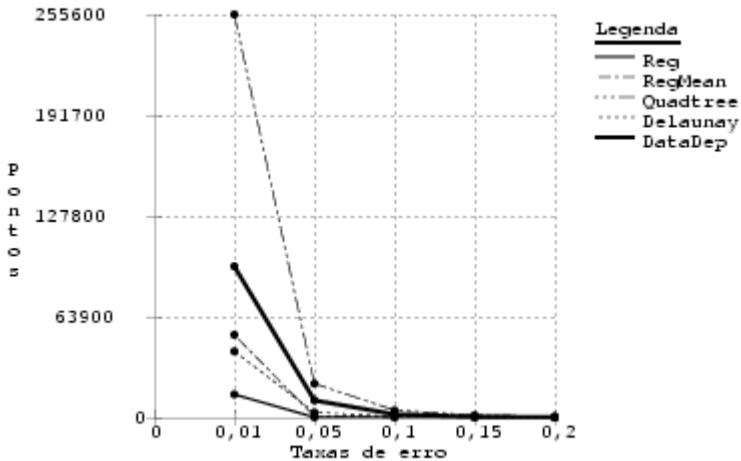


FIGURA 08 – TEMPO DE EXECUÇÃO PARA APROXIMAÇÕES DA IMAGEM *EMORY PEAK*, VARIANDO AS TAXAS DE ERROS.

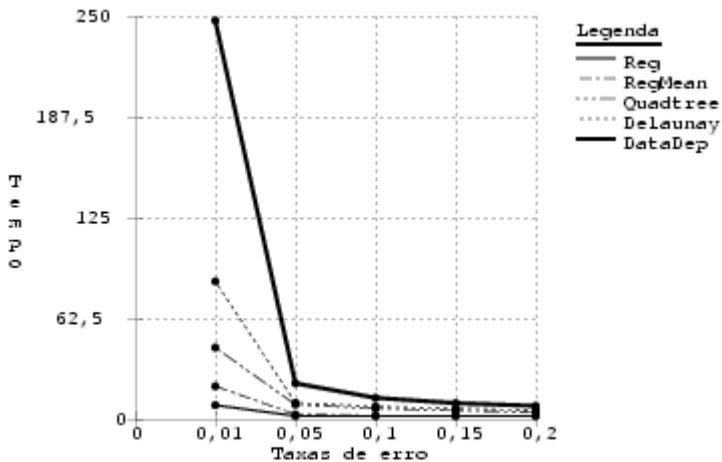


FIGURA 09 – RMSE PARA APROXIMAÇÕES DA IMAGEM *EMORY PEAK*, VARIANDO O NÚMERO DE PONTOS UTILIZADOS.

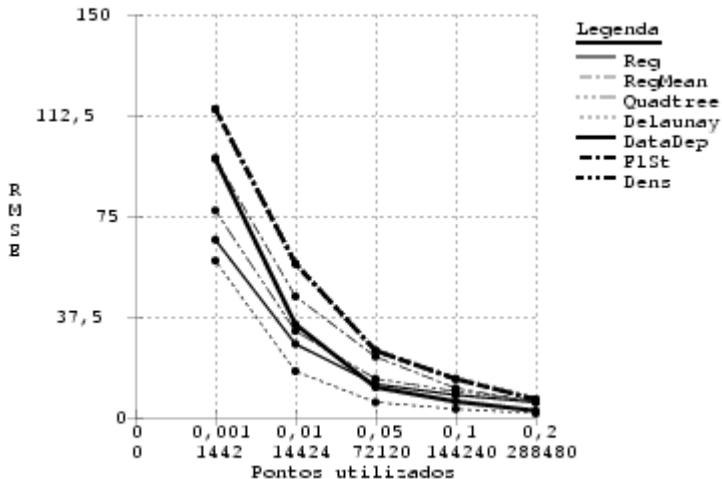


FIGURA 10 – PSNR PARA APROXIMAÇÕES DA IMAGEM *EMORY PEAK*, VARIANDO O NÚMERO DE PONTOS UTILIZADOS.

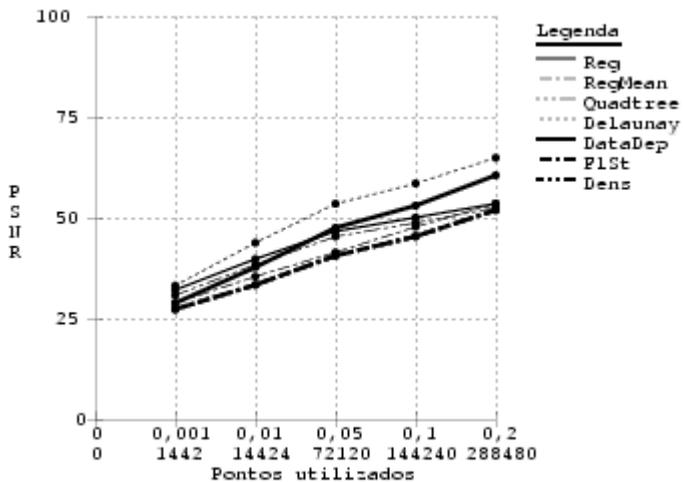


FIGURA 11 – RMSE PARA APROXIMAÇÕES DA IMAGEM CAPE FLATTERY, VARIANDO AS TAXAS DE ERROS.

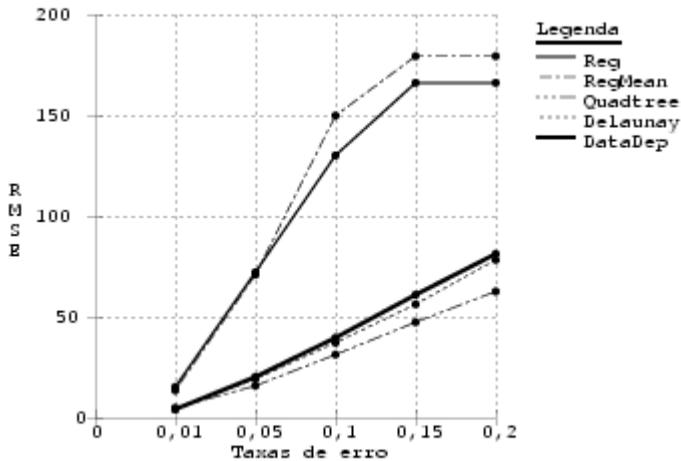


FIGURA 12 – PSNR PARA APROXIMAÇÕES DA IMAGEM CAPE FLATTERY, VARIANDO AS TAXAS DE ERROS.

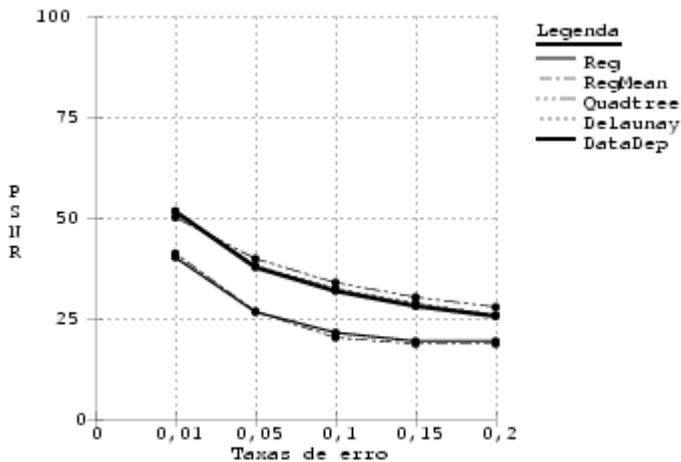


FIGURA 13 – PONTOS UTILIZADOS POR APROXIMAÇÕES DA IMAGEM CAPE FLATTERY, VARIANDO AS TAXAS DE ERROS.

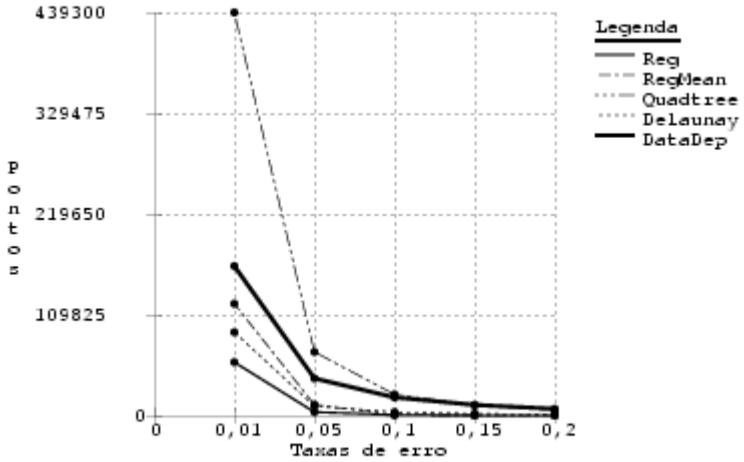
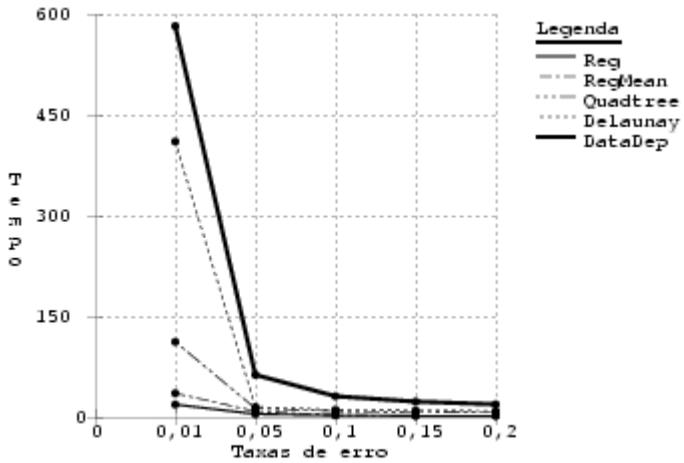


FIGURA 14 – TEMPO DE EXECUÇÃO PARA APROXIMAÇÕES DA IMAGEM CAPE FLATTERY, VARIANDO AS TAXAS DE ERROS.



CÁLCULO DE ÁREAS DE POLÍGONOS SOBRE O ELIPSÓIDE USANDO PROJEÇÕES EQUIVALENTES

Mauricio Galo¹
João F. Galera Monico¹
Leonardo Castro de Oliveira²

¹ UNESP/FCT - Departamento de Cartografia
Presidente Prudente, SP, Brasil
{galo, galera}@prudente.unesp.br

² IME - Instituto Militar de Engenharia
Departamento de Engenharia Cartográfica
Rio de Janeiro, RJ, Brasil
leonardo@aquarius.ime.eb.br

RESUMO

O cálculo de áreas de figuras elipsoidais é freqüentemente necessário em algumas aplicações geodésicas. Para os casos em que os lados dos polígonos são arcos de paralelo ou de meridiano o cálculo é mais simples. No entanto, em situações onde os lados são formados por arcos de paralelo, arcos de meridiano e linhas geodésicas, a solução não é trivial. Algumas soluções consideram a divisão da área original em triângulos, usando a Triangulação de Delaunay, sendo a área de cada triângulo calculada usando expressões da trigonometria esférica. Nesse caso, o raio médio de curvatura para o centro do triângulo é usado como raio da esfera de cada triângulo esférico. Como alternativa propõe-se que seja realizado o cálculo da área a partir da divisão dos lados do polígono em segmentos menores, criando pontos adicionais, seguido da transformação das coordenadas geodésicas de todos os pontos (originais e adicionais) para coordenadas em uma projeção plana equivalente sobre o elipsóide, para então realizar o cálculo da área do polígono projetado através da fórmula de Gauss. A proposta apresentada foi implementada e os resultados indicam que essa alternativa pode ser utilizada em aplicações que requerem grande rigor de qualidade, proporcionando erros relativos em área da ordem de ppb (partes por bilhão) ou mesmo ppt (partes por trilhão), desde que sejam utilizados intervalos adequados para a divisão dos lados.

Palavras-chave: Área de polígonos elipsoidais; Projeções equivalentes; Divisão de linhas geodésicas, meridianos e paralelos.

ABSTRACT

The calculation of areas under ellipsoid is frequently necessary in some geodetic applications. For the cases where the sides of the polygons are arcs of meridians and parallels, the calculation is simple. However, in situations where arcs of parallels, arcs of meridians and geodesic lines compose the polygons, the solution is not trivial. In some solutions it is considered the division of the original area in triangles, using Delaunay Triangulation, and the area of each triangle is computed using expressions of spherical trigonometry. In this case the average radius of curvature for the center of the triangle is used as local radio for the spherical triangle. As an alternative, it is proposed to split the borders of the polygon in small parts, followed by transformations of the geodetic coordinates into an azimuthal equivalent projections coordinates over the ellipsoid. Finally, the area of the projected polygon is computed by Gauss equation. The proposed approach was implemented and the results indicate that relative error of ppb (parts for billion) or even ppt (parts for trillion) can be obtained by this method. Therefore, this approach can be considered in applications requiring high quality area computation under the elipsoidal surface, since adequate interval for borders division is used.

Keyword: Area computation under ellipsoid; Equivalent projections; Division of geodetic lines, meridians and parallels.

1. INTRODUÇÃO e OBJETIVOS

Algumas aplicações em Geodésia e Cartografia requerem freqüentemente o cálculo de áreas de polígonos, cujos lados sejam formados por arcos de paralelo, arcos de meridiano e linhas geodésicas. O cálculo das áreas de tais figuras não é trivial, a não ser que os lados sejam formados apenas por arcos de paralelo e de meridiano. No caso de ser uma figura composta por vários "quadriláteros elipsoidais", pode-se fazer a divisão em n quadriláteros, sendo cada quadrilátero limitado por dois paralelos (φ_i e φ_{i+1}) e por dois meridianos (λ_i e λ_{i+1}). Logo, a área total (A_T) da figura é calculada pelo somatório das áreas de todos os n quadriláteros, ou seja:

$$A_T = \sum_{j=1}^n Q_j, \quad (1)$$

onde a área de um dado quadrilátero é obtida por

$$Q_{(\varphi_i, \varphi_{i+1}, \lambda_i, \lambda_{i+1})} = \left| S_{\varphi_{i+1}} - S_{\varphi_i} \right| \left| \lambda_{i+1} - \lambda_i \right|, \quad (2)$$

sendo λ_i e λ_{i+1} expressos em radianos e

$$S_{\varphi_i} = b^2 \left(\sin \varphi_i + \frac{2}{3} e^2 \sin^3 \varphi_i + \frac{3}{5} e^4 \sin^5 \varphi_i + \frac{4}{7} e^6 \sin^7 \varphi_i + \dots \right). \quad (3)$$

Na Equação 3, S_{φ_i} é a área compreendida entre dois arcos de meridiano de amplitude igual a um (1) radiano, entre o equador e o paralelo de latitude φ_i , como descrito em Bugayevsky & Snyder (1995, p. 52).

Esta solução só é possível na situação em que os "lados" sejam formados por arcos de paralelo e meridiano, o que é comum em algumas aplicações, como por exemplo, no cálculo de blocos de exploração e produção de petróleo (Araujo & Varella, 1999). A solução apresentada por Araujo & Varella (1999) para este problema considera a divisão dos blocos de exploração em sub-blocos, podendo resumir a solução nas seguintes etapas: fazer a divisão da área em sub-blocos de amplitude igual a 9,375" em latitude e longitude; calcular a área plana de cada sub-bloco usando a Projeção Policônica; calcular o fator de escala; fazer a correção da área com o fator de escala calculado; e, finalmente, realizar o somatório da área de cada um dos sub-blocos.

Em Diaz & Oliveira (2001) é apresentada uma solução para o cálculo da área de polígonos elipsoidais baseada na divisão do polígono original em uma série de triângulos. Inicialmente o polígono é dividido em regiões triangulares, usando a triangulação de Delaunay, sendo a área de cada triângulo elipsóidico aproximada pela área de um triângulo esférico no qual o raio de curvatura do triângulo é igual ao raio médio de curvatura calculado para o ponto médio do triângulo. Na solução implementada a área total do polígono elipsoidal é dada pela soma da área de cada triângulo. Posteriormente, cada triângulo é sucessivamente subdividido em quatro triângulos e a área recalculada. O processo finaliza quando o valor da área estabiliza. Segundo os autores, o erro relativo obtido, quando foi calculado a área do elipsóide adotado para o Brasil, é da ordem de 1×10^{-11} , o que equivale a 0,01 ppb (partes por bilhão).

Pode-se observar por estas duas alternativas apresentadas que a área total de uma figura composta por quadriláteros elipsoidais e de um polígono genérico no elipsóide, respectivamente, é obtida pelo somatório de áreas de quadriláteros elipsoidais ou de triângulos esféricos. Em Moraes (2001) é apresentada uma solução para o cálculo da área de polígonos delimitados por linhas geodésicas que se baseia no cálculo da área entre cada uma das linhas geodésicas e o equador. Assim, considerando que o contorno do polígono seja composto de L geodésicas, a área do polígono será obtida pela composição (soma ou subtração) da área entre cada um dos L lados e o equador. Esta solução só é válida para figuras formadas por linhas geodésicas, o que nem sempre é o caso.

Deste modo, o objetivo deste trabalho é propor uma solução que considere figuras onde os lados não sejam apenas linhas geodésicas, e nem apenas arcos de paralelo e meridiano; e que além disso não seja necessário fazer a divisão da figura em sub-regiões.

Como alternativa sugere-se que seja feita a divisão das bordas do polígono original pela inclusão de pontos adicionais, permitindo o cálculo da área do polígono elipsoidal por meio de um polígono plano equivalente, obtido a partir do uso de uma projeção plana equivalente. Uma vez que se pretende obter a área sobre o elipsóide de revolução, considera-se que a projeção plana utilize como superfície de referência o elipsóide de revolução.

2. FORMULAÇÃO DO PROBLEMA E PROPOSTA DE SOLUÇÃO

Dado um polígono formado por um conjunto de pontos geodésicos $\{(\varphi_1, \lambda_1), (\varphi_2, \lambda_2), (\varphi_3, \lambda_3), \dots, (\varphi_j, \lambda_j), \dots, (\varphi_n, \lambda_n)\}$, com $j \in \{1, 2, \dots, n\}$, sobre a superfície de referência (elipsóide de revolução), o problema se resume no cálculo da área deste polígono sobre esta superfície (A_{SR} - área sobre a superfície de referência).

Como mencionado anteriormente, uma alternativa para a solução é o cálculo da área do polígono equivalente, obtido considerando uma certa projeção cartográfica. Das classes de projeções possíveis, considerando os diversos critérios utilizados na classificação das projeções, uma de especial interesse é aquela formada por projeções equivalentes. Nesta classe de projeções a razão entre as áreas na superfície de projeção (A_{SP}) e superfície de referência (A_{SR}) pode ser obtida por

$$\frac{A_{SP}}{A_{SR}} = m_0 m_{90} = 1 \quad (4)$$

onde m_0 e m_{90} são os fatores de escala ao longo das curvas paramétricas. A razão mostrada na equação anterior é obtida ao considerar a condição de equivalência, que é atingida a partir da igualdade entre as áreas de paralelogramos diferenciais sobre ambas superfícies, como se pode ver em Richardus & Adler (1972).

Como normalmente as projeções equivalentes são utilizadas para escalas médias, a superfície normalmente adotada como referência para estas projeções é a esférica, seja a projeção desenvolvida sobre o plano, sobre o cilindro ou sobre o cone. Dentre os critérios que podem ser considerados na escolha do raio da esfera, um que merece destaque é aquele que se baseia na equivalência das áreas entre as superfícies, dando origem à esfera equivalente, ou esfera autálica, que possui a mesma área que a superfície do elipsóide de revolução. No entanto, para o caso colocado, onde se deseja calcular a área sobre o elipsóide de revolução, o adequado é considerar uma projeção equivalente que utiliza como superfície de referência o elipsóide de revolução. Dentre as alternativas tem-se, por exemplo, a Projeção Azimutal Equivalente de Lambert.

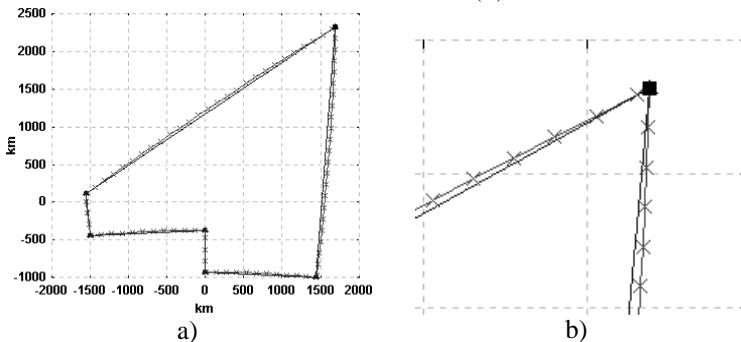
Um elemento importante ao utilizar as projeções azimutais é a determinação do ponto de tangência (φ_0, λ_0) . Assumindo que se tem inicialmente um conjunto de n pontos com coordenadas geodésicas, pode-se assumir que o ponto de tangência seja obtido por

$$(\varphi_0, \lambda_0) = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \varphi_i, \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \lambda_i \right). \quad (5)$$

De posse de (φ_0, λ_0) , utilizando-se da lei de formação da projeção e dispendo dos pontos $\{(\varphi_1, \lambda_1), (\varphi_2, \lambda_2), (\varphi_3, \lambda_3), \dots, (\varphi_j, \lambda_j), \dots, (\varphi_n, \lambda_n)\}$, com $j \in \{1, 2, \dots, n\}$, pode-se obter estes n pontos na projeção, ou seja: $\{(x_1, y_1), (x_2, y_2), (x_3, y_3), \dots, (x_j, y_j), \dots, (x_n, y_n)\}$. Considerando estes conjuntos de pontos e a propriedade dada pela Equação 4, a área na superfície de projeção poderá ser calculada indiretamente ao aplicar a tradicional fórmula de Gauss ao polígono projetado, uma vez que ele se localiza num plano.

A princípio esta solução é correta, mas, no entanto, observa-se que esta equivalência não é imediata, uma vez que nem sempre um lado projetado como um segmento de reta na projeção, representa um segmento de reta no quadrilátero original. Neste caso, haverá uma razão unitária entre as áreas se a quantidade de pontos do contorno for adequada (representativa). A Figura 1 mostra um exemplo para o caso em que se tem um polígono irregular onde os pontos extremos são transformados para a Projeção Azimutal Equivalente de Lambert, e então são ligados por segmentos de reta. Posteriormente os lados são divididos em pequenos segmentos, sendo todos os pontos transformados para a projeção e mostrados na mesma figura. Na Figura 1b é mostrado um detalhe, onde se pode ver as discrepâncias entre esses dois conjuntos de pontos.

FIGURA 1 - POLÍGONO ORIGINAL E POLÍGONO SUBDIVIDIDO ONDE OS PONTOS SÃO LIGADOS POR SEGMENTOS DE RETA (A). EM (B) É MOSTRADO UM DETALHE AMPLIADO DOS MESMOS POLÍGONOS (A).

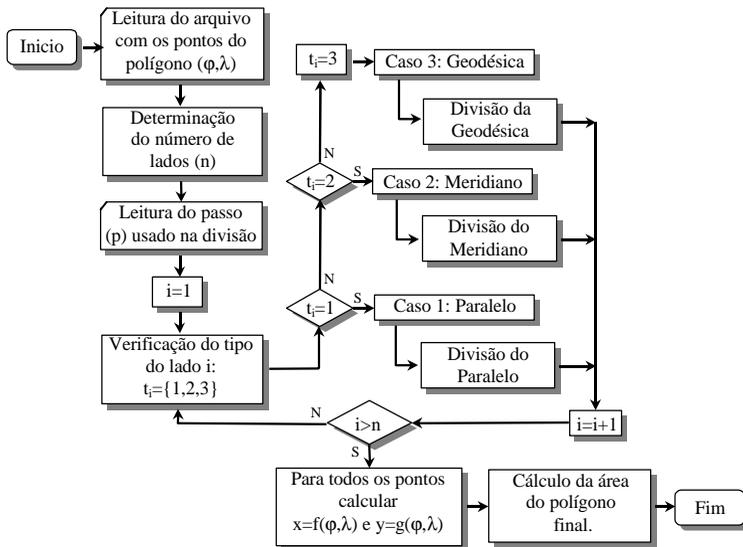


Pode-se, portanto, observar pela Figura 1b a discrepância entre o polígono original, onde os pontos são ligados por segmentos de reta, e os lados após a divisão das bordas, obtendo-se uma maior quantidade de pontos (cruzes).

Deste modo, a proposta para o cálculo da área pode ser resumida nas seguintes etapas: 1) leitura dos vértices do polígono em coordenadas geodésicas; 2) divisão

dos lados em vários segmentos, pela criação de pontos adicionais; 3) conversão de todos os pontos para a Projeção Azimutal Equivalente de Lambert; e 4) cálculo da área do polígono final. Este procedimento é detalhado no fluxograma que compõe a Figura 2.

FIGURA 2 - FLUXOGRAMA DO ALGORITMO PARA O CÁLCULO DA ÁREA (Projeção Azimutal Equivalente de Lambert sobre o Elipsóide)



Pode-se observar pelo fluxograma que na divisão dos lados considera-se que os lados do polígono sejam formados por arcos de meridiano, arcos de paralelo ou linhas geodésicas.

Na seqüência são apresentadas as equações que permitem a conversão das coordenadas geodésicas em coordenadas na Projeção Azimutal Equivalente de Lambert, considerando como superfície de referência o elipsóide de revolução, com semi-eixo maior a e excentricidade e .

2.1 PROJEÇÃO AZIMUTAL EQUIVALENTE DE LAMBERT

Dadas as coordenadas geodésicas de um ponto genérico (φ, λ) e assumindo que o plano de projeção seja tangente ao elipsóide de revolução em (φ_0, λ_0) , as coordenadas na Projeção Azimutal Equivalente de Lambert deste ponto genérico poderão ser calculadas, segundo Snyder (1982, p. 173), por:

$$\begin{aligned}x &= BD \cos \Phi \sin(\lambda - \lambda_0) \\y &= \frac{B}{D} [\cos \Phi_0 \sin \Phi - \sin \Phi_0 \cos \Phi \cos(\lambda - \lambda_0)]\end{aligned}\quad (6)$$

Nesta equação, Φ representa a latitude autálica do ponto de latitude geodésica φ e Φ_0 representa a latitude autálica do ponto de latitude geodésica φ_0 . A latitude autálica corresponde a latitude de um ponto, sobre a esfera autálica, ou esfera equivalente, como definido anteriormente. Mais detalhes podem ser obtidos em Snyder (1982) e Richardus & Adler (1972).

Nas Equações 6 os termos B e D podem ser obtidos por:

$$\begin{aligned}B &= R_q \{2/[1 + \sin \Phi_0 \sin \Phi + \cos \Phi_0 \sin \Phi \cos(\lambda - \lambda_0)]\}^{1/2} \\D &= \frac{am_0}{R_q \cos \Phi_0}\end{aligned}\quad (7)$$

com

$$R_q = a(q_p/2)^{1/2}, \quad (8)$$

e

$$\Phi = \arcsen\left(\frac{q}{q_p}\right), \quad (9)$$

sendo R_q o raio da esfera autálica. O termos q e m podem ser obtidos por:

$$q = (1 - e^2) \left\{ \frac{\sin \varphi}{1 - e^2 \sin^2 \varphi} - \frac{1}{2e} \ln \frac{1 - e \sin \varphi}{1 + e \sin \varphi} \right\}, \quad (10)$$

$$m = \frac{\cos \varphi}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 \varphi}}. \quad (11)$$

Nas equações 8 e 9 o termo q_p representa o valor de q estimado a partir da Equação 10 para $\varphi=90^\circ$. Para mais detalhes sobre estas equações e sobre a interpretação geométrica de alguns destes elementos, sugere-se Snyder (1982) e Richardus & Adler (1972).

2.2 DIVISÃO DE ARCOS DE MERIDIANO, DE PARALELO E DE LINHAS GEODÉSICAS

A partir do Fluxograma da Figura 2 percebe-se a necessidade da divisão dos lados, que podem ser arcos de meridiano, de paralelo ou de linhas geodésicas. Pressupõe-se, portanto, no algoritmo implementado que apenas estas três categorias de curvas sejam aceitas e caso os lados não sejam paralelos nem meridianos, eles são considerados geodésicas.

É relevante lembrar que apenas duas classes de curvas poderiam ser consideradas, arco de paralelo e linhas geodésicas, uma vez que todo meridiano é uma geodésica. No entanto, manteve-se estas três classes pois o número de operações necessárias para a divisão de um arco de meridiano é inferior ao necessário para dividir uma linha geodésica.

Para que o algoritmo faça a classificação de cada um dos lados do polígono utilizam-se as coordenadas das extremidades de cada lado e, uma vez que a divisão é realizada sobre as coordenadas geodésicas, é necessário converter o passo (p), dado em metros, para o passo (p_a), dado em unidade angular. Nesta conversão é utilizado o raio médio de curvatura para o ponto de tangência (\bar{R}_{φ_0}) e realizada a operação

$$p_a = p / \bar{R}_{\varphi_0} .$$

No Quadro 1 são apresentados os algoritmos para a divisão de paralelos e de meridianos. Na coluna da esquerda considera-se que os pontos extremos do paralelo possuem coordenadas (φ, λ_A) e (φ, λ_B) . Os termos em negrito correspondem àqueles que são modificados ao considerar os meridianos (na coluna da direita no Quadro 1), sendo os demais mantidos iguais e, por isso, não foram repetidos. No caso de arcos de meridianos considera-se que os pontos extremos possuem as coordenadas (φ_A, λ) e (φ_B, λ) .

QUADRO 1 - ALGORITMO PARA A DIVISÃO DOS PARALELOS (esquerda) E DOS MERIDIANOS (direita).

1) Cálculo de $S = \text{SINAL}(\lambda_B - \lambda_A)$	$S = \text{SINAL}(\varphi_B - \varphi_A)$
2) $\lambda_{\text{INICIAL}} = \lambda_A$	$\varphi_{\text{INICIAL}} = \varphi_A$
3) $i = 1$	
4) Se $S > 0$ Então	
5) $\lambda_i = \lambda_{\text{INICIAL}} + S * p_a$	$\varphi_i = \varphi_{\text{INICIAL}} + S * p_a$
6) Se $\lambda_i < \lambda_B$ Então	$\varphi_i < \varphi_B$
7) Salvar (φ, λ_i)	(φ_i, λ)
8) $\lambda_{\text{INICIAL}} = \lambda_i$	$\varphi_{\text{INICIAL}} = \varphi_i$
9) $i = i + 1$	
10) Vá para (5)	
11) Se não	
12) Vá para (22)	
13) Se não	
14) $\lambda_i = \lambda_{\text{INICIAL}} + S * p_a$	$\varphi_i = \varphi_{\text{INICIAL}} + S * p_a$
15) Se $\lambda_i > \lambda_B$ Então	$\varphi_i > \varphi_B$
16) Salvar (φ, λ_i)	(φ_i, λ)
17) $\lambda_{\text{INICIAL}} = \lambda_i$	$\varphi_{\text{INICIAL}} = \varphi_i$
18) $i = i + 1$	
19) Vá para (14)	
20) Se não	
21) Vá para (22)	
22) Paralelo Dividido	Meridiano Dividido

Para a divisão das linhas geodésicas deve-se utilizar as equações que possibilitam realizar o problema direto e inverso da Geodésia. Deste modo podem ser consideradas diversas equações, como por exemplo, as mostradas no Quadro 2.

QUADRO 2 - ALGUMAS EQUAÇÕES UTILIZADAS PARA O TRANSPORTE DE COORDENADAS GEODÉSICAS COM O RESPECTIVO ALCANCE (Bomford, 1952).

Fórmula	Alcance
Fórmula de Puissant	Correta para linhas de 50 ou 60 milhas.
Fórmula de Tardi	Correta para linhas da ordem de 150 milhas.
Fórmula de Clarke (Utilizada pelo USGS para linhas longas)	Correta para linhas de 200 a 250 milhas.
Fórmula de Graaff-Hunter	Correta para linhas de 300 milhas.
Extensão de Rainsford para a fórmula aproximada de Clarke. (A fórmula de Clarke foi desenvolvida para $L < 100$ milhas e Rainsford acrescentou outros termos.)	Correta além de 500 milhas.
Fórmula de Clarke (<i>Clarke's best formula</i>)	Correta além de 500 milhas.
Fórmula de Rudoe	Correta para 500 milhas (e provavelmente para qualquer distância (Bomford, 1952, p. 84)).
Equações de T. Vincenty (<i>Nested Equations</i> (Vincenty, 1975))	Erro menor que 0,01 mm para linhas de até 18000 km.

O algoritmo para a divisão da geodésica é apresentado na seqüência. Considera-se nesse caso que os pontos extremos da geodésica são dados por (φ_A, λ_A) e (φ_B, λ_B) e que o intervalo usado na divisão seja p .

QUADRO 3 - ETAPAS DO ALGORITMO PARA A DIVISÃO DAS GEODÉSICAS.

1)	Cálculo da distância geodésica entre A e B (D_{AB})
2)	Cálculo do azimute da geodésica em A (Az_{AB})
3)	$i=1$
4)	$d_i=i*p$
5)	Se $d_i < D_{AB}$ Então
6)	$\varphi_i = F(\varphi_A, \lambda_A, Az_{AB}, d_i)$
7)	$\lambda_i = G(\varphi_A, \lambda_A, Az_{AB}, d_i)$
8)	Salvar (φ_i, λ_i)
9)	$i=i+1$
10)	Vá para (4)
11)	Se não
12)	Vá para (13)
13)	Geodésica dividida

No algoritmo anterior, as funções F e G permitem calcular a latitude e a longitude de um dado ponto (φ_i, λ_i) dadas a posição do ponto origem (φ_A, λ_A) , o azimute da geodésica que liga os pontos A e B e de d_i , sendo d_i a distância contada

sobre a geodésica entre o ponto origem e o ponto (φ_i, λ_i) . Para o caso de polígonos no qual os lados seja inferiores a 50-60 milhas (92-111km) recomenda-se o uso da Fórmula de Puissant. Para o caso de polígonos de maiores dimensões, pode-se utilizar outras formulações, como as apresentadas por Bomford (1952) e Vicenty (1975), ambas descritas no Quadro 2. No presente trabalho considerou-se a formulação de Vicenty (1975), por meio de adaptações de subrotinas disponibilizadas pelo NGS (*National Geodetic Survey*) no endereço www.ngs.noaa.gov/PC_PROD/Inv_Fwd/.

3. EXPERIMENTOS E RESULTADOS

Nesta seção são apresentados os resultados dos experimentos realizados a partir da implementação do procedimento proposto.

3.1. AVALIAÇÃO DA ÁREA DO ELIPSÓIDE

O procedimento proposto foi aplicado no cálculo da área do elipsóide de revolução oficialmente utilizado no Brasil, o Elipsóide de Referência de 1967, cujos parâmetros foram definidos pela IUGG (*International Union of Geodesy and Geophysics*) em 1967. Os valores do semi-eixo maior e achatamento deste elipsóide são, respectivamente, $a=6378160,000\text{m}$ e $f=1/298,25$. A área da superfície do elipsóide, calculada a partir do uso da Equação 2 e usada como referência, é igual a $510.069.272,7375059 \text{ km}^2$.

Para a aplicação do procedimento proposto considerou-se o elipsóide dividido por quadriláteros de 15° de Latitude por 15° de Longitude, situados entre os paralelos 0° a 15° , 15° a 30° , 30° a 45° , 45° a 60° , 60° a 75° e 75° a 90° . Foram calculadas a área de cada um destes quadriláteros, utilizando o procedimento proposto, sendo a área do elipsóide de revolução obtido pela soma de todos os quadriláteros calculados. Diferentes intervalos foram considerados na divisão dos lados dos quadriláteros, sendo mostrado o erro absoluto e o erro relativo na Tabela 1.

Ao observar os valores da Tabela 1 pode-se notar que o erro é menor à medida que diminui o intervalo usado na discretização, o que já era esperado. Apenas como elemento de comparação, em Lukatela (2000) o erro relativo em área para o elipsóide de revolução, usando polígonos de Voronoi, é da ordem $1/11.090.113$, o que corresponde a aproximadamente 90,17 ppb. Em Diaz & Oliveira (2001) o erro relativo obtido, usando a divisão sucessiva dos Triângulos de Delaunay, é da ordem de 0,01 ppb.

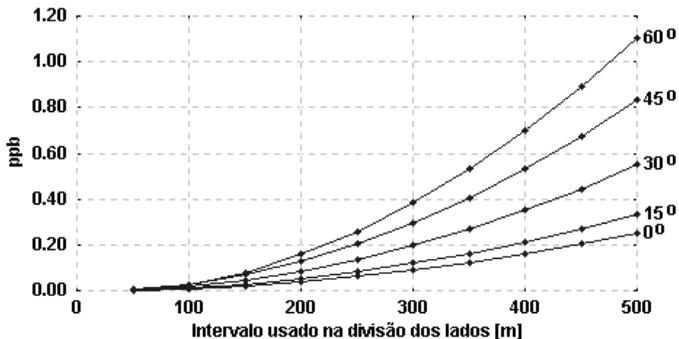
TABELA 1 - ÁREA DO ELIPSÓIDE OBTIDA PELA SOMA DA ÁREA DE QUADRILÁTEROS DE $15^{\circ} \times 15^{\circ}$, USANDO DIFERENTES PASSOS NA DIVISÃO DOS LADOS.

Intervalo usado na divisão dos lados (m)	Erro absoluto em área (m^2)	Erro em ppb (partes por bilhão)
15	267,5	0,0005
30	1155,6	0,0023
50	3238,8	0,0063
100	13069,1	0,0256
150	29446,8	0,0577
200	52371,6	0,1027
250	81838,6	0,1604
300	117862,7	0,2311

Pode-se, portanto, evidenciar que pela escolha de um passo adequado na divisão dos lados o procedimento proposto pode ser aplicado, obtendo-se erros relativos iguais ou menores que os obtidos por outros procedimentos, não sendo necessário fazer a divisão da região em sub-regiões, mas apenas do seu contorno.

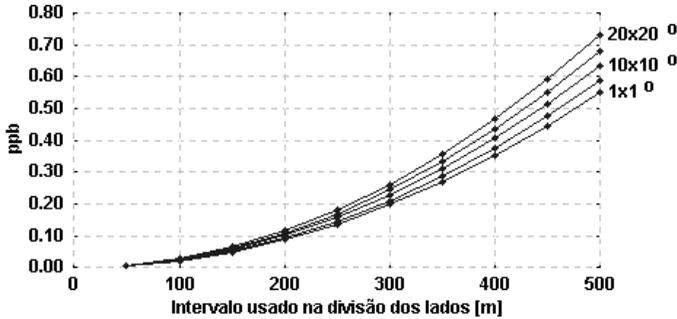
3.2. INFLUÊNCIA DA DIMENSÃO DA REGIÃO E DA LATITUDE

Na seqüência são apresentados os erros relativos, em ppb - partes por bilhão, ao considerar uma área de $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ em diferentes latitudes e divididas com diferentes intervalos. As latitudes consideradas no processamento foram 0° , 15° , 30° , 45° e 60° , como pode-se ver na Figura 3.

FIGURA 3 - ERRO RELATIVO PARA UMA ÁREA DE $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ USANDO DIFERENTES PASSOS NA DIVISÃO DOS LADOS, EM DIFERENTES PARALELOS.

Pode-se notar que para os intervalos mostrados no gráfico da Figura 3 o maior erro relativo é inferior a 1,2 ppb.

FIGURA 4 - ERRO RELATIVO EM ÁREA PARA POLÍGONOS DE DIFERENTES DIMENSÕES.



Na Figura 4 são apresentados os erros relativos para polígonos de $1^\circ \times 1^\circ$, $5^\circ \times 5^\circ$, $10^\circ \times 10^\circ$, $15^\circ \times 15^\circ$ e $20^\circ \times 20^\circ$, considerando diferentes passos na divisão. Embora o erro relativo seja proporcional à área do polígono, pode-se observar que mesmo para polígonos de dimensão $20^\circ \times 20^\circ$ o erro relativo é inferior a 0,8ppb para o passo de 500m usado na divisão dos lados, podendo ser reduzido pela escolha de um passo inferior.

3.3. COMPARAÇÃO DO PROCEDIMENTO PROPOSTO COM O USO DA PROJEÇÃO UTM

O próximo experimento realizado visa comparar o resultado obtido pelo procedimento proposto com o obtido pelo uso da Projeção UTM - Universal Transversa de Mercator. Esta projeção tem como característica principal a conformidade, ou seja, a manutenção da forma de pequenas áreas, sendo uma das projeções mais utilizadas no país. Nessa projeção, como o fator de escala independe da direção, pode-se escrever $m_0 = m_{90} = m$ (ou k). Deste modo, diferente da Equação 4 onde a razão entre A_{SP} e A_{SR} assume o valor 1, nesta projeção tem-se:

$$\frac{A_{SP}}{A_{SR}} = m_0 m_{90} = m \cdot m = m^2 \text{ (ou } k^2 \text{)}. \quad (12)$$

Logo, uma vez calculada a área (A_{SP}) a partir da projeção conforme, para obter a área correspondente na superfície de referência deve-se fazer a operação:

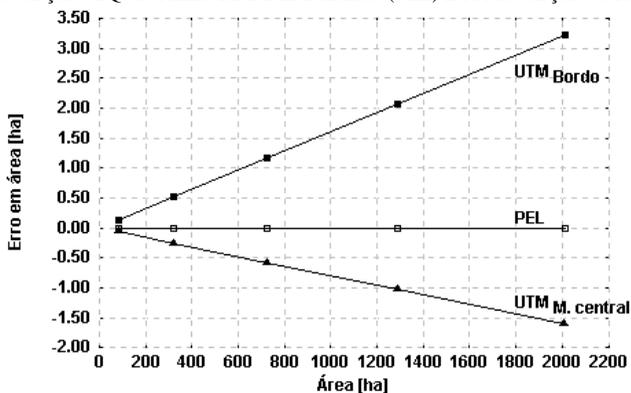
$$A_{SR} = \frac{A_{SP}}{k^2}. \quad (13)$$

O inconveniente do uso da Equação 13, ou de projeções conformes para o cálculo de áreas, se deve ao fato de que k varia ponto a ponto. Por outro lado, embora na Equação 4 os valores de m_0 e m_{90} modifiquem ponto a ponto, o produto $m_0 m_{90}$ se mantém constante para toda a projeção, o que não ocorre com as projeções que não são equivalentes.

Para se ter uma idéia da diferença entre as áreas obtidas pela projeção UTM com a obtida pelo procedimento proposto foi feito o cálculo da área de alguns quadriláteros, todos situados próximo ao paralelo 20°. Considerou-se ainda estes quadriláteros em diferentes posições dentro do fuso UTM, próximo ao centro do fuso e na borda do fuso.

A Figura 5 mostra o erro em área, em hectares, quando se utiliza o procedimento proposto (que se baseia no uso da Projeção Equivalente de Lambert - PEL) e também quando se usa a projeção UTM. Para a aplicação do procedimento proposto considerou-se como intervalo para a divisão dos lados o valor 50m.

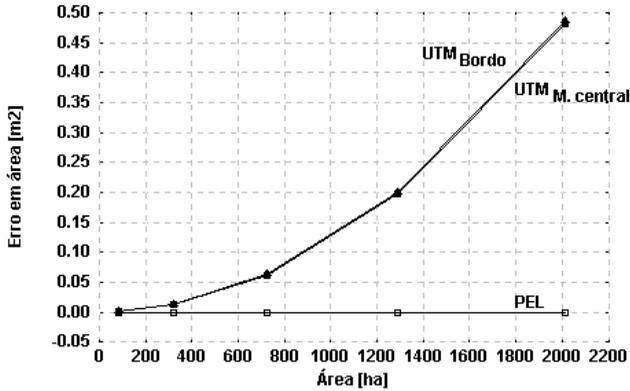
FIGURA 5 - ERRO EM ÁREA PARA REGIÕES DE DIFERENTES DIMENSÕES, USANDO A PROJEÇÃO EQUIVALENTE DE LAMBERT (PEL) E A PROJEÇÃO UTM.



Pode-se notar claramente pela Figura 5 que ao usar a projeção UTM ocorre uma ampliação das áreas quando se está próximo aos bordos do fuso e uma redução quando se está próximo ao centro do fuso, tal como preconiza a teoria. No entanto, ao utilizar o procedimento sugerido, o erro em área é bem pequeno, independente da localização da região dentro do fuso UTM.

Ao aplicar a Equação 13 às áreas obtidas pela projeção UTM ocorre uma compensação da área como mostra o gráfico da Figura 6.

FIGURA 6 - ERRO EM ÁREA AO USAR O PROCEDIMENTO PROPOSTO E A PROJEÇÃO UTM APÓS A CORREÇÃO DO FATOR DE ESCALA.



Pode-se observar pelos resultados mostrados na Figura 6 que mesmo após a aplicação do fator de escala médio ao valor da área obtida pela projeção UTM, o procedimento sugerido neste trabalho apresenta discrepâncias inferiores, indicando que seu uso é adequado.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho abordou-se o problema do cálculo de áreas de polígonos sobre o elipsóide. O procedimento proposto baseia-se na divisão do contorno da área, seguido da transformação das coordenadas geodésicas para as coordenadas na Projeção Azimutal Equivalente de Lambert sobre o elipsóide. Esta projeção foi escolhida devido a propriedade de equivalência e também por considerar o elipsóide de revolução como superfície de referência.

Um ponto importante a ser considerado consiste no fato de que é mais fácil dividir ou discretizar curvas no espaço do que superfícies. Por esta razão procurou-se considerar a divisão das bordas. Na divisão dos paralelos e meridianos considerase a interpolação das longitudes e latitudes, respectivamente. No caso da divisão das linhas geodésicas são utilizadas as mesmas equações utilizadas na solução dos problemas direto e inverso da Geodésia.

Considerou-se neste trabalho que os polígonos utilizados podem ser formados por arcos de meridiano, arcos de paralelo e linhas geodésicas. A partir dos experimentos e das análises realizadas concluí-se que é possível chegar a estimativas de áreas com erros da ordem de ppb (partes por bilhão) e até menores, desde que se faça a escolha adequada do intervalo de divisão das bordas.

REFERÊNCIAS

ARAUJO, Ricardo Lomba de; VARELLA, Luiz Eduardo Seabra. Metodologia para cálculo das áreas dos blocos de exploração e produção de petróleo. In.: **Anais do XIX Congresso Brasileiro de Cartografia**. Recife - PE: 3-8 de outubro, 1999. Anais em CDROM.

BOMFORD, G. **Geodesy**. Oxford: Clarendon Press, 1952. 452p.

BUGAYEVSKIY, Lev M.; SNYDER, John Parr. **Map Projections: a reference manual**. London: Taylor & Francis, 1995. 328p.

DIAZ, Johana Maria Chirinos; OLIVEIRA Leonardo Castro de. Cálculo de área de um polígono elipsoidal. In.: **Anais do XX Congresso Brasileiro de Cartografia**. Porto Alegre - RS: Centro de Convenções da PUCRS, 7-12 de outubro, 2001. Anais em CDROM.

LUKATELA, Hrvoje. Ellipsoidal area computation of large terrestrial objects. In.: **International Conference on Discrete Global Grids**. Santa Barbara: 26-28 March, 2000. Disponível em: <www.geodyssey.com.papers/ggelare.html>. Acesso em: Fevereiro de 2003.

MORAES, Carlito Vieira de. Caracterização de estremas no espaço geométrico: fundamentos jurídicos e geodésicos. **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 53, p. 01-15, Dezembro 2001. ISSN 9560-4613.

RICHARDUS, Peter; ADLER, Ron K. **Map Projections for Geodesists, Cartographers and Geographers**. Amsterdam: North-Holland Publishing Company, 1972. 174p.

SNYDER, John Parr. **Map Projections used by the U. S. Geological Survey**. Washington DC: United States Government Printing Office, 1982. 313p.

VICENTY T. Direct and Inverse Solutions of Geodesics on the Ellipsoid with application of nested equations, **Survey Review**, **XXII**, **176**, p.88-93, 1975.

CONTROLE DE QUALIDADE DOS MAPAS MUNICIPAIS DIGITAIS UMA PROPOSTA DE PADRONIZAÇÃO DO PROCESSO NA UNIDADE IBGE-CE

Marcelo Campos Maia, José Augusto Faés,
Angelo Demetrius Guilherme,
Geraldo Santos Landovsky, João Candido de Melo Júnior,
Georgete Leite Serrano, Antonio Carlos Rodrigues

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – Divisão de Geociências Nordeste 3.
[mpc](#), [josefaes](#), [adguilherme](#), [landovsky](#), [joaojunior](#), [serrano](#), [ues](#) - [@ibge.gov.br](#)

RESUMO

A Divisão de Geociências da Unidade Estadual do IBGE no Ceará é responsável pela manutenção e atualização dos documentos cartográficos dos Estados do Maranhão, Piauí, Ceará, Paraíba e Rio Grande do Norte. Um volume de trabalho bastante acentuado considerando as restrições de recursos materiais e humanos. A necessidade de reorganização das frentes de trabalho, em todas as suas etapas, promoveu a discussão das metodologias empregadas bem como dos resultados obtidos em cada fase do processo, visando a padronização e maior confiabilidade do material gerado. Diante de tais fatos, a equipe de técnicos envolvidos na realização destas atividades, vêm tentando implementar um manual operacional que possa ser utilizado como fonte de referência nos trabalhos de controle de qualidade dos mapas municipais. Tal manual tem por objetivo definir normas de procedimento contemplando as diversas etapas do processo, entre elas a atualização e a consolidação dos bancos de dados existentes. O presente trabalho tem por objetivo mostrar o passos dados na implementação do referido manual.

Palavras-chave: Controle de Qualidade; Cartografia; Banco de Dados

ABSTRACT

The maintenance and modernization of the cartographic documents of States embraced by the Second Division of Geoscience of the Northeast, of the Brazilian Institute of Geography and Statistics, (DIGEO2NE3 - IBGE) they generate to volume of quit accentuated work, considering the restrictions of material and human resources. The necessity of reorganization of the work fronts, in whole its stages, it promoted the methodologies maids discussion as well as the of the results obtained in each process's phase, seeking the standardization and larger reliability of the material generated. According to facts, the team is trying to implement an operational manual that can be used the reference source in the a great quality of control by municipal maps. The present work is showing the first steps in the elaboration of this manual.

Keywords: Quality Control; Cartography; database.

1. INTRODUÇÃO

1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A Divisão de Geociências do IBGE – CE (DIGEO2NE3) é responsável pela manutenção e atualização dos documentos cartográficos dos Estados do Maranhão, Piauí, Ceará, Paraíba e Rio Grande do Norte. Um volume de trabalho bastante acentuado considerando as restrições de recursos materiais e humanos. A necessidade de reorganização das frentes de trabalho, em todas as suas etapas, promoveu a discussão das metodologias empregadas bem como dos resultados obtidos em cada fase do processo, visando a padronização e maior confiabilidade do material gerado.

Os Mapas Municipais Digitais (MMD's) são produzidos com base em diversas fontes de dados, sendo a primeira delas constituída das informações migradas dos originais das cartas topográficas integrantes do Mapeamento Sistemático. A essas informações são acrescidos dados oriundos dos esforços de atualização cartográfica levantados por ocasião de diferentes projetos, em especial o Arquivo Gráfico Municipal (AGM) e o CENSO 2000.

A utilização dos MMD's trouxe à tona uma série de inconsistências e incompatibilidades, que torna inadiável a definição de um projeto técnico de avaliação de sua qualidade, sob a égide dos conceitos clássicos da cartografia. Concomitantemente faz-se mister estabelecer normas de procedimentos para a inserção de informações novas provenientes dos futuros levantamentos de campo e para consolidação das informações existentes numa única base de dados alfanuméricos. A implementação de procedimentos seguros e de maior rigor técnico

reveste-se de caráter prioritário no momento em que está por ser implantada a nova versão do Sistema de Cartografia Automatizada – SISCART.

Diante de tais fatos, a equipe do Setor de Tratamento de Dados e Estruturas Territoriais, em conjunto com a de Cartografia Digital, vêm tentando implementar um manual operacional que possa ser utilizado como fonte de referência nos trabalhos de controle de qualidade dos mapas municipais digitais - MMD's. Tal manual tem por objetivo definir normas de procedimento contemplando as seguintes atividades: conversão de dados dos originais cartográficos; consolidação dos dados, avaliação e processamento dos elementos de atualização cartográfica já levantados; revisão final e orientação para os próximos levantamentos de elementos de atualização cartográfica.

2. CONVERSÃO DE DADOS

Na conversão de dados, as imagens digitais no formato matricial, foram obtidas através de um processo de rasterização dos originais cartográficos, resultando três imagens que combinadas recompõem o mapa original. O arquivo digital (imagem) de cor azul corresponde aos elementos de hidrografia, o de cor vermelha contém a representação de cidades e das principais rodovias e o de cor branca contém o complemento da malha viária (inclusive a ferroviária) e demais localidades da região, grade de coordenadas e outras informações presentes na carta. Estas imagens servirão para a recuperação das informações juntamente com a utilização da carta topográfica impressa. No processo de rasterização, fatores como o estado de conservação da imagem original e a resolução do scanner influem no resultado do processo, gerando imagens com diferentes níveis de nitidez, podendo ocorrer distorções e até omissão de dados. Para se corrigir possíveis defeitos, uma análise das informações deve ser procedida visando garantir a legibilidade da imagem.

3. PREPARO E CONSOLIDAÇÃO DOS DADOS

Consolidar informações de atualização cartográfica originárias dos diversos projetos e respectivos bancos de dados, num único banco de dados, procedendo aos devidos ajustes. Esta é a função desta etapa do trabalho.

Os dados de atualização cartográfica encontram-se originalmente armazenados em cinco bancos de dados separados:

- a) CENSO: Dados levantados na época do CENSO 2000 que compreendem basicamente localidades, vilas, povoados, estradas e caminhos, propriedades rurais, escolas e igrejas;

- b) AGM: Arquivo Gráfico Municipal, dados levantados na década de 90 e separado por seu número no mapa índice (MI) e município. Compreendem vilas, povoados, localidades, estradas e caminhos;
- c) MME: Mapa Municipal Estatístico, dados compilados em escritório com baixa qualidade cartográfica;
- d) ASMM: Atualização Sistemática do Mapeamento Municipal, dados levantados a partir do ano de 2002.
- e) AGM_c: Dados complementares do AGM, referentes aos acidentes naturais (hidrografia e relevo) gerados a partir do cruzamento do AGM delimitado por MI.

Pela diversidade de projetos de atualização cartográfica conforme descritos acima, a etapa de consolidação de dados consiste em juntar em uma listagem única os projetos já existentes como AGM, MME e CENSO como material no cruzamento de informações com o Mapa Municipal Digital (MMD) e a listagem Dbase_AGM (listagem dos dados da carta original, em formato Dbase) a ser trabalhado pela equipe de técnicos na análise dos elementos de atualização cartográfica já existente.

4. ANÁLISE DOS ELEMENTOS DE ATUALIZAÇÃO CARTOGRÁFICA JÁ EXISTENTES

A primeira instância do MMD registra os dados conforme existiam à época da confecção da carta topográfica, o que, para a região Nordeste, significa um retrato de mais de 30 anos atrás. O comportamento das diversas feições cartográficas ao longo do tempo não é o mesmo; os acidentes naturais, como hidrografia e relevo são pouco afetados, ao passo que elementos como localidades, malha viária e massas d'água sofrem acentuadas modificações com o passar dos anos. Diante disso, deve-se diferenciar os procedimentos em relação ao processo de atualização quanto a esses dois grupos de acidentes, e utilizando uma abordagem por feição cartográfica.

A atualização dos elementos de Hidrografia e Relevo ocorreu preponderantemente por ocasião dos levantamentos de campo do projeto Arquivos Gráfico Municipal (AGM), ao longo da década de 1990. Nessa ocasião, as conseqüências do êxodo rural já se faziam sentir, ocasionando a dificuldade de encontrar informantes qualificados. Em decorrência percebe-se que a maioria das atualizações procedidas nos acidentes naturais registram topônimos vinculados às localidades mais próximas, desconsiderando a estrutura geral dos acidentes, acarretando, por exemplo, ocorrências freqüentes de cursos d'água com multiplicidade de topônimos, como por exemplo a alteração do topônimo Jacaré presente na carta original para Riacho da Palmeira e Riacho Jabuti, conforme é mostrado na Figura 01.

FIGURA 01: ATUALIZAÇÃO NA TOPONÍMIA DO RIO JACAREÍ



FONTE: CARTA ATUALIZADA MI 823

A atualização dos demais elementos ocorreu durante os trabalhos do CENSO e ocorre periodicamente, através de diversos outros projetos. Os dados destes projetos são consolidados num único banco de dados de forma a proceder os devidos ajustes nos MMD's. Nesta etapa, a equipe de técnicos realizará o cruzamento dos dados da listagem consolidada com dados referentes ao Dbase_AGM e o mapa municipal, utilizando como limite o município de trabalho, utilizando os conceitos acima descritos

O cruzamento de informações entre diversas fontes de dados deve levar em conta a uniformização das mesmas com o atendimento de certas normas como o armazenamento em banco de dados de elementos lineares (rios, estradas) com dois pares de coordenadas e elementos pontuais (localidades, propriedades rurais, escolas, igrejas, vilas e povoados) com um par de coordenadas.

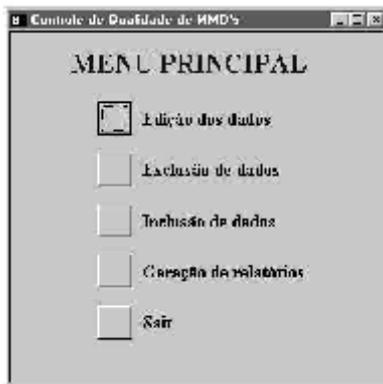
Após o cruzamento, o operador deverá proceder ajustes, inclusões de dados (AGM_c e ASMM) e geração de relatório utilizando para isso o aplicativo de controle de qualidade desenvolvido em MS Access. A figuras abaixo 02 e 03 exemplificam as funções do aplicativo:

FIGURA 02: TELA DE ABERTURA DO APLICATIVO DE CONTROLE DE QUALIDADE



FONTE: AUTORES

FIGURA 03: TELA DO MENU PRINCIPAL



FONTE: AUTORES

5. REVISÃO FINAL E PADRONIZAÇÃO CARTOGRÁFICA

A revisão final e a padronização cartográfica são as últimas etapas do processo de controle de qualidade. A primeira, referente a uniformidade dos dados referentes ao banco de dados e ao mapa, é realizada pelos revisores logo após o trabalho dos técnicos. Basicamente a revisão é feita no cruzamento entre o Relatório por acidente do Banco de Dados do município com o seu respectivo MMD. O revisor tem por obrigação checar todos os elementos do banco de dados em relação ao MMD e realizar os apontamentos das correções na listagem e no MMD impresso. Após isso são feitas as correções no banco de dados utilizando o aplicativo de Controle de Qualidade do município em questão.

Logo após este processo de revisão final dos elementos dentro do município de trabalho, deve ser realizada a crítica de ligação com os municípios limítrofes, desde que os mesmos estejam também na fase de revisão final. A crítica de ligação consiste em uniformizar os acidentes e topônimos de forma que os acidentes lineares (malha viária e hidrografia) que saem de um município e entram no município vizinho, tenham as mesmas coordenadas tanto na entrada quanto na saída do limite dos municípios no caso do elemento cartográfico passar através tal limite. Nesta fase, também deve ser pesquisado se existem itens transferidos entre municípios. No caso da existência destes itens, deve-se investigar qual o último número de item do projeto para então incluir o dado utilizando o aplicativo de Controle de Qualidade.

Após a crítica de ligação, o revisor final também tem por atribuição corrigir no MMD os elementos adicionados em relação ao seu posicionamento. Após terem sido feitas estas correções no mapa, o mesmo deve ser encaminhado para a equipe

de Cartografia Digital para que esta venha a realizar os procedimentos de padronização cartográfica e impressão do mapa municipal.

A padronização cartográfica, realizada na Cartografia Digital, é a última instância de Controle de Qualidade do MMD. Esta fase é responsável pela uniformização do layout e aplicação de um padrão de qualidade no que diz respeito aos elementos cartográficos no mapa.

6. ORIENTAÇÃO PARA NOVOS LEVANTAMENTOS

As novas excursões a campo devem, prioritariamente, levantar os seguintes elementos cartográficos a serem atualizados e registrados: localidades; vias de transporte; cursos d'água, passagem a vau, passagem molhada, pontes; escolas, igrejas, cemitérios, hospitais e postos de saúde e feições significativas do relevo. Nesta nova etapa de inclusões de elementos se procurou adequar a Ficha de Atualização Cadastral (FAC) de maneira que mesma venha a ter todos os seus campos preenchidos, evitando-se a perda de dados e inconsistências entre os mesmos.

7. CONCLUSÃO

De maneira geral, com a elaboração do manual pretende-se dar à rotina de atualização dos MMD's um caráter não apenas sistemático e padronizado, mas também garantir que as informações neles constantes sejam confiáveis e ainda, que a forma como os dados foram obtidos e incluídos, tanto nos mapas municipais como nos bancos de dados, estejam embasados em conceitos cartográficos.

Ainda pois, em fase de construção, o referido manual deverá ser um instrumento de consulta tanto para os técnicos que coletam os dados em campo como para quem trabalha nas demais etapas do processo de atualização. O incremento que se pretende dar ao referido processo é o aperfeiçoamento do controle de qualidade do material produzido, para que, quando se utilize a versão mais recente de um mapa municipal se tenha a informação correta, advinda de fonte confiável e que retrate o alto padrão dos trabalhos desenvolvidos pela Instituição.

8. REFERÊNCIAS

- IBGE. **Manuais Técnicos de Atualização Cartográfica** – Divisão de Geociências Rio de Janeiro, 2000;
- MICROSOFT CORPORATION. **Microsoft Access** 97 SR-2 -Copyright 1992 - 1997
- SISCART – **Sistema de Cartografia Automatizada**, versão 2.7.2Porto Alegre - 2000

DSG. Aracati MI 823. Rio de Janeiro, 1971. 1 mapa: color. Escala 1:100000

ELABORAÇÃO E GEORREFERÊNCIA DE UM FOTOMOSAICO DIGITAL DO MUNICÍPIO DE TOLEDO-PR ATRAVÉS DO SISTEMA DE INFORMAÇÃO TERRITORIAL RURAL –SITER.

Enio Giotto¹

Claire Delfini Viana Cardoso²

Ana Caroline Paim Benedetti³

- 1 Universidade Federal de Santa Maria – giotto@ccr.ufsm.br
- 2 Universidade Federal de Santa Maria – ccardoso@mail.ufsm.br
- 3 Universidade Federal de Santa Maria – anacaroline@mail.ufsm.br

RESUMO

O Sistema de Informação Territorial Rural - SITER é um aplicativo computacional desenvolvido pelo Laboratório de Geomática da Universidade Federal de Santa Maria com o objetivo de dar suporte ao Sistema de Gestão Rural Municipal. O Sistema possui diversas funções aplicáveis em várias áreas de conhecimento que utilizam geotecnologias, possibilitando a coleta, armazenamento, recuperação, transformação e visualização de informações espaciais provenientes de dados cartográficos, para que possam ser usados como bases digitais no planejamento de uma determinada área.

O presente trabalho teve como objetivo a montagem de um fotomosaico digital, corte e georreferência da área física do município de Toledo-PR, utilizando para isto diversas rotinas do Sistema de Informação Territorial Rural - SITER. Para a realização deste trabalho foram utilizadas cartas topográficas DSG confeccionadas na projeção UTM, na escala 1:50000, as quais apresentam parte da área de interesse. Sobre estas cartas foram traçados os limites físicos do município de Toledo, formados na maioria das vezes por cursos de água e redes viárias. Como resultado deste trabalho obteve-se um fotomosaico digital da área do município de Toledo, georreferenciado através das coordenadas UTM coletadas nas cartas topográficas, sendo este realizado através de diversas rotinas no programa SITER.

Conclui-se que o fotomosaico servirá como uma base de dados digitais, que poderá ser manipulada dentro do Sistema para a extração de diversas informações que auxiliem na administração municipal e planejamento urbano e rural, através de consultas, simulações, obtenção de resultados estatísticos e formulação de decisões a partir de dados gráficos e cadastrais.

Palavras-chave: SITER; Fotomosaico; Georeferência.

ABSTRACT

The Rural Territorial Information System (SITER), is a software developed by Laboratory of Geomatic at the Federal University of Santa Maria, aiming to give support to the Municipal Rural Management System. It has a diversity of functions which can be applied at a wide range of knowledge that make use of geotechnologies, making possible the collecting, storing, recovering, transforming and viewing of spatial information from the cartographic data, so that they can be used as digital base to a better planning of a certain area.

The present work had as objective the assembling of a digital photomosaic, cutting and geo-referencing of the municipality physical area of Toledo-PR, making use for these of many routines on the Rural Territory Information System (SITER). They were used DSG topographical maps based on UTM projection, and scale 1:50000, which represent part of the area of interest. On these maps were delineated the physical boundaries of the Toledo territory, based most of the time on waterways and roads. As a result of this work it has been obtained a digital photomosaic of through UTM coordinates based on topographical maps being this carried out with and of the software SITER.

Concluding the photomosaic will be used as digital data base, which can be manipulated in the System, for the extracting of a diversity of information aiding the municipal administration on and planning of urban and rural areas, through consulting, simulation, statistics results and the formulation decisions resulting from the graphical data and registers.

Keywords: SITER; Photomosaic; Geo-referencing.

1. INTRODUÇÃO

O Sistema de Informação Territorial Rural - SITER é um aplicativo computacional desenvolvido pelo Laboratório de Geomática da Universidade Federal de Santa Maria com o objetivo de dar suporte ao Sistema de Gestão Rural Municipal.

O Sistema pode ser utilizado como ferramenta básica de geoprocessamento, com diversas funções aplicáveis em várias áreas de conhecimento que utilizam geotecnologias.

Este aplicativo permite a coleta, armazenamento, recuperação, transformação e visualização de informações espaciais provenientes de dados cartográficos, para que

possam ser usados como bases digitais no planejamento do espaço físico de uma determinada área.

A aplicação dos Sistemas de Informações Geográficas constituem um potencial economicamente viável pela capacidade de acompanharem as dinâmicas geográficas e principalmente das variáveis ambientais em extensas áreas. O SIG facilita a análise e manipulação de informações a respeito do cenário ambiental, conseguida através da integração de tecnologias, tais como a cartografia digital, gerenciamento de banco de dados e processamento digital de imagens, aplicadas a um conjunto interdisciplinar do conhecimento científico.

Este trabalho teve como objetivo a montagem de um fotomosaico digital, corte e georreferência da área física do município de Toledo-PR, utilizando para isto diversas rotinas do Sistema de Informação Territorial Rural - SITER.

O produto final elaborado a partir deste trabalho servirá como mapa base para o planejamento municipal, facilitando aos gestores a adquirir informações corretas, confiáveis, atualizadas, disponíveis com agilidade, apresentada de forma conveniente no momento da tomada de decisão. Estas informações possibilitadas através da aplicação desta tecnologia auxiliarão nas diversas áreas ligadas a administração municipal como tributação, fiscalização educação, saúde, transportes, transito, meio ambiente, infra-estrutura entre outros.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para ASSAD e SANO, (1998) geoprocessamento é uma disciplina do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento de informações geográficas. Tal tecnologia tem influenciado de maneira crescente as áreas de Cartografia, Análise de Recursos Naturais, Transporte, Comunicações, Energia e Planejamento Urbano e Regional. Os autores dizem que o tratamento das informações espaciais é hoje um requisito considerável para controlar e ordenar a ocupação das unidades físicas do meio ambiente, tão atingidas por decisões que, invariavelmente, contrapõem-se à lógica racional de seu uso. Para acompanhar o ritmo veloz, a complexidade desta ocupação e a utilização do solo, é necessário dispor de técnicas que provêm referências espaciais da ordenação dessa ocupação, passíveis de tratamentos automatizados.

ROCHA, (2000) define SIG como um sistema com capacidade para aquisição, armazenamento, tratamento, integração, processamento, recuperação, transformação, manipulação, modelagem, atualização, análise e exibição de informações digitais georreferenciadas, topologicamente estruturadas, associadas ou não a um banco de dados alfanuméricos.

GARCIA (1997) comenta que a dimensão das aplicações de SIG vem sendo usada com sucesso na área de cadastros técnicos, tornando-se necessário a incorporação do geoprocessamento na cultura administrativa da prefeitura.

BUZAI & DURAN (1997) definem a tecnologia da geoinformação como um tipo de aplicação computacional destinada a gestão e manejo de dados geográficos, que na última década converteram-se em uma importante ferramenta auxiliar para a gestão de respostas e soluções as problemáticas sócio espaciais e ambientais. Os mesmos autores consideram que tratamento integrado da informação gráfica em forma de mapas e de dados alfanuméricos associados as diferentes temáticas, tem requerido o desenvolvimento de modernas tecnologias destinadas a realizar um manejo eficaz de uma quantidade de informações contidamente crescentes que provêm de fontes muito diversas.

CÂMARA & MEDEIROS (1998) explicam também que os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) são responsáveis pelo tratamento computacional de dados geográficos. E em função da amplitude de suas aplicações, incluindo a agricultura, floresta, cartografia, cadastro urbano e redes de concessionárias (água, energia e telefonia) um SIG pode ser utilizado também como ferramenta para produção de mapas, no suporte para análise espacial de fenômenos ou como um banco de dados geográficos, com funções de armazenamento e recuperação da informação espacial.

RODRIGUES & VILLAÇA (1995) salientam que é crescente o uso de informações na administração municipal com uma referência espacial. Através de SIGs estas informações podem ser usadas nos níveis operacional, gerencial e estratégico tornando-se instrumento importante para auxiliar na definição de políticas públicas e tomada de decisões. Destaca ainda o seu uso na área fiscal (impostos, taxas e fiscalização tributária), no planejamento e administração do solo urbano, na gestão de serviços públicos, entre outros.

3. METODOLOGIA

3.1 DELIMITAÇÃO DA ÁREA

Os limites da área física do município de Toledo-PR são em sua maioria formados por redes drenagem e redes viárias. Estão contidos em seis cartas topográficas DSG confeccionadas na projeção UTM, na escala 1:50000. Portanto, a fase inicial deste trabalho constituiu-se na delimitação manual destas feições sobre as cartas.

3.2 DIGITALIZAÇÃO

A etapa seguinte constituiu no processo de digitalização das feições que compõem o limite físico. Esta foi realizada do modo contínuo (arraste) para feições caracterizadas por arcos extensos e sinuosos como redes de drenagem, e no modo ponto a ponto pra as feições com características retilíneas como as redes viárias.

A etapa de digitalização sobre as cartas topográficas foi realizada com o auxílio de uma mesa digitalizadora *SUMMAGRID IV* formato A1 e do Sistema *SITER*, utilizado para interfacear a mesa com o computador.

Cada carta topográfica foi previamente georreferenciada a partir da tomada de quatro pontos de apoio de coordenadas UTM, introduzidos no Sistema através da sub-rotina georreferenciamento e posteriormente calibrados na mesa digitalizadora.

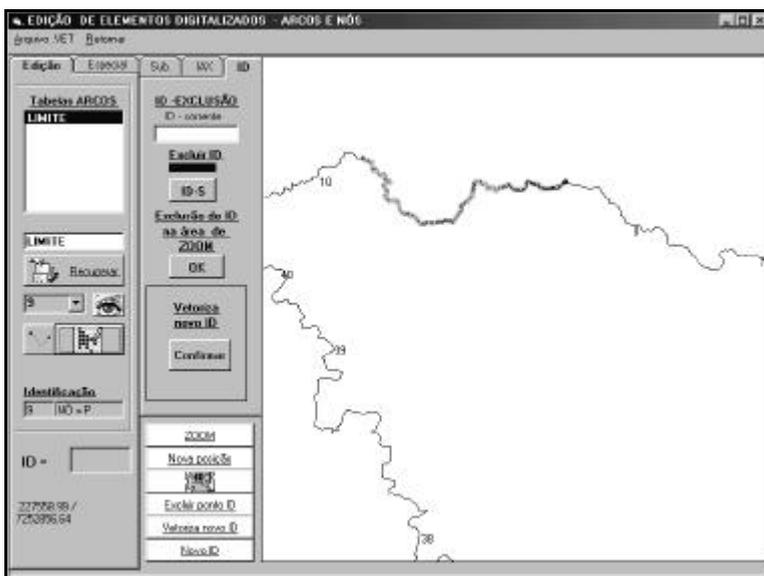
3.3 EDIÇÃO DOS DADOS

Com o objetivo de minimizar o trabalho de correção e o ajuste durante a edição, na digitalização das feições observou-se cuidadosamente os aspectos relativos a quebra de linhas para definição dos nós, ao fechamento dos polígonos e a continuidade das feições entre as bordas das cartas.

Os dados gerados a partir da digitalização foram armazenados no Sistema sob a forma de tabela de um banco de dados relacional. Após a digitalização e armazenamento dos dados, esta tabela foi recuperada na rotina Edição de Arcos e Nós, a qual possibilitou a edição final dos dados, através do fechamento e ajustamento dos Arcos.

A Figura 01 mostra a edição final dos Arcos que compõem o polígono digitalizado.

FIGURA 01: EDIÇÃO DE ARCOS E NÓS.



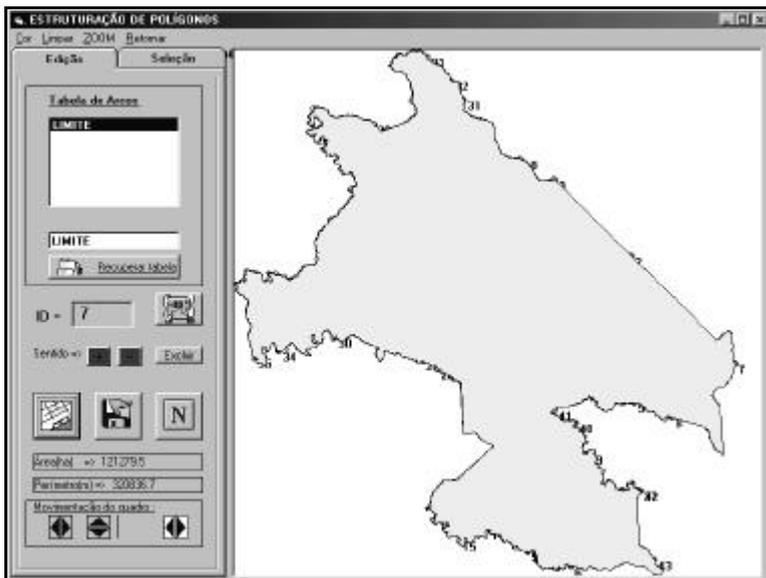
3.4 ESTRUTURAÇÃO DO POLÍGONO

A digitalização foi realizada utilizando-se a entidade gráfica Arcos e Nós para que posteriormente fosse estruturado um polígono, denominado Máscara.

O Sistema SITER possibilita que informações armazenadas em banco de dados relacionais sejam posteriormente convertidos para o formato vetorial. Tal procedimento foi realizado através da rotina Estruturação de Polígonos. Nesta rotina procedeu-se a recuperação da tabela contendo os dados oriundos da digitalização e a posterior estruturação do polígono Máscara, cujos limites são um conjunto de arcos. Cada arco apresenta uma identificação (ID), sendo que a seleção vários IDs definiram o polígono que foi salvo como arquivo vetorial de formato .VET.

A figura abaixo, mostra a seleção dos arcos e a posterior estruturação do polígono Máscara.

FIGURA 02: ESTRUTURAÇÃO DE POLÍGONOS.



3.5 GEORREFERENCIAMENTO DAS IMAGENS

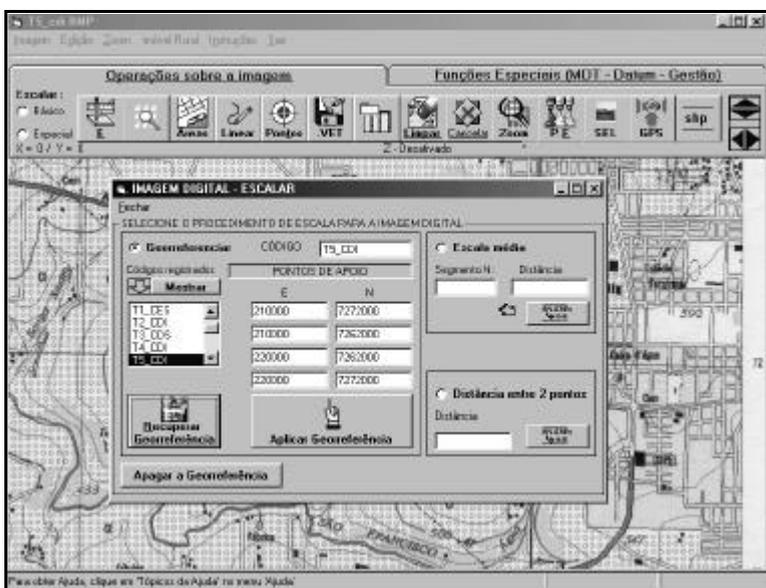
Para o procedimento de elaboração do fotomosaico digital, foram confeccionadas imagens no formato *bitmap* a partir da digitalização das áreas de interesse encontradas em cada carta topográfica através de um escaner de varredura ótica.

Em cada imagem *bitmap* realizou-se o georreferenciamento através da sub-rotina Georreferência Básica, na qual foram escolhidos quatro pontos de apoio de coordenadas UTM possíveis de serem identificados na imagem.

O prévio georreferenciamento das imagens que compõem o fотомosaico foi necessário devido a necessidade da georreferência na estruturação da Imagem Base do fотомosaico.

A figura 03 mostra a Rotina de Vetorização do Sistema SITER, que possibilita o georreferenciamento de imagens Raster a partir da tomada de quatro pontos de apoio.

FIGURA 03: APLICAÇÃO DA GEORREFERÊNCIA SOBRE A IMAGEM.



3.6 ELABORAÇÃO DO FOTOMOSAICO

Através da sub-rotina Fотомosaico foi construída uma Imagem Base georreferenciada com as dimensões de 5500 x 6000 pixels e resolução de 10 metros. Sobre esta imagem foi realizado o procedimento de transferência corrente das imagens georreferenciadas anteriormente, formando assim uma única imagem *bitmap*.

A figura 04 apresenta a realização da transferência corrente das imagens georreferenciadas sobre a Imagem Base.

FIGURA 04: TRANFERENCIA CORRENTE SOBRE A IMAGEM BASE.

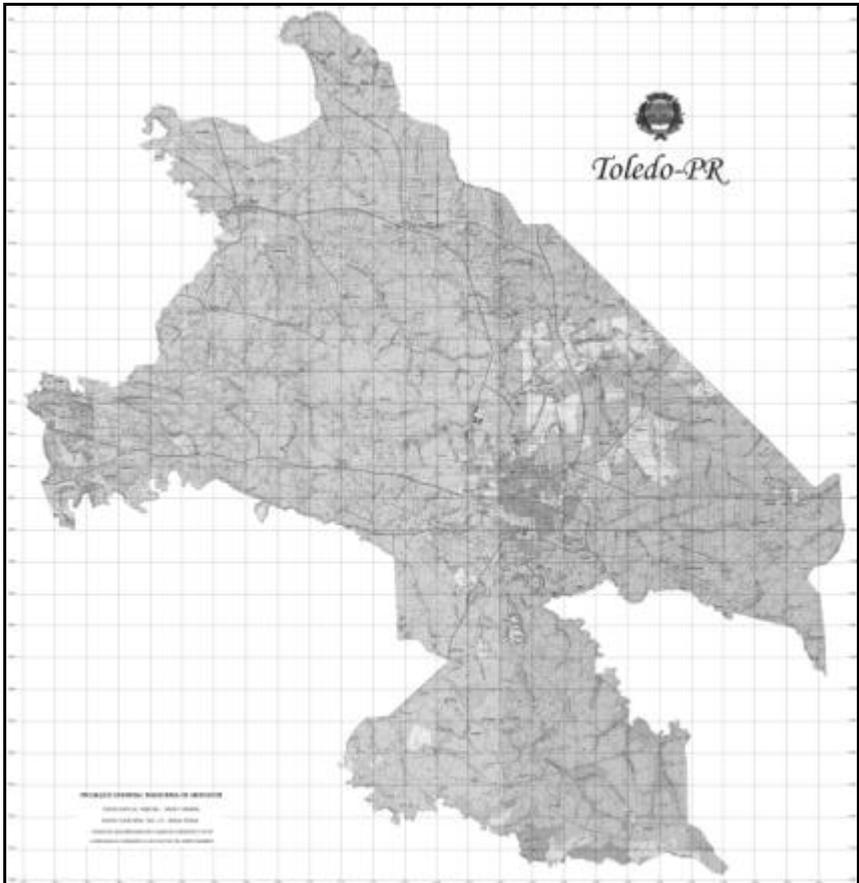


Na nova imagem mosaicada, procedeu-se, a sobreposição do arquivo de dados vetoriais referente ao perímetro do município. Após a sobreposição do arquivo vetorial, foi realizado o corte da imagem georreferenciada, através do submenu Recortar. Este procedimento permite que a imagem seja recortada e concentre-se apenas dentro limite da área de interesse.

4. RESULTADOS

Como resultado deste trabalho obteve-se um fotomosaico digital da área do município de Toledo, georreferenciado através das coordenadas UTM coletadas nas cartas topográficas, sendo este realizado através de diversas rotinas no programa SITER.

FIGURA 05: FOTOMOSAICO DO MUNICIPIO TOLEDO-PR.



5. CONCLUSÃO

O fotomosaico elaborado a partir deste trabalho servirá como uma base de dados digitais, que poderá ser manipulada dentro do Sistema para a extração de diversas informações que auxiliem na administração municipal e planejamento urbano e rural, através de consultas, simulações, obtenção de resultados estatísticos e formulação de decisões a partir de dados gráficos e cadastrais.

6. REFERÊNCIAS

ASSAD, E. D.; SANO, E. E. **Sistema de Informações Geográficas – Aplicações na Agricultura**. Brasília,DF: Embrapa-SPI/Embrapa-CPAC,1998.Ed. Do Autor, 2000.

BUZAI, G. D.; DURÁN, D. **Enseñar e investigar com sistemas de información geográfica (S.I.G)**. Buenos Aires: Traquel, 1997. 192p.

CAMÁRA, G. & MEDEIROS, J. S. Princípios Básicos em Geoprocessamento. In: **Sistemas de Informações Geográficas – Aplicações na Agricultura**. 2. ed., ver. E ampl. – Brasília, DF: EMBRAPA – CPAC, 1998. p. 3-11

GARCIA, R. Prefeituras – O Caminho da Modernização. **FATOR GIS**, n. 18, mar;abr, p. 24-25, 1997.

ROCHA, C. H. B. **Geoprocessamento: Tecnologia Transdisciplinar**. Juíz de Fora, MG: Ed. Do Autor, 2000. 220p. il.

RODRIGUES, P.H. & VILLAÇA, S. Sistemas Municipais de Informações: subsídios para a utilização em geoprocessamento. **FATOR GIS**, n . 09, abr/ mai/jun, p. 35 -39, 1995.

7. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a disponibilização para publicação dos resultados obtidos e a Prefeitura Municipal de Toledo-PR pelo convênio firmado com o Laboratório de Geomática da Universidade Federal de Santa Maria-RS.

MODELO DE VISUALIZAÇÃO DE FENÔMENOS TERRESTRES EM 3D

Neilor Fermino Camargo¹
Carlos Alberto Picanço de Carvalho²
Antônio José Berutti Vieira³
Johnatan Daniel Lima⁴

- 1 Universidade Federal do Paraná – neilor@inf.ufpr.br
- 2 Universidade Federal do Paraná – carlosac@inf.ufpr.br
- 3 Universidade Federal do Paraná – aberutti@ufpr.br
- 4 Universidade Federal do Paraná – johnatan@inf.ufpr.br

RESUMO

Este trabalho apresenta um modelo de estrutura de aplicação orientada a objetos para visualização de fenômenos terrestres em 3D. A partir de um modelo formal de conceitos para expressar fenômenos terrestres como objetos de software, e de um modelo de persistência para coleções destes objetos em um meio de armazenamento computadorizado, é apresentada uma arquitetura de classes para a construção de aplicações orientadas a objetos. A arquitetura permite a criação de aplicações para a visualização em 3D de coleções fenômenos terrestres.

Palavras-chave: Ciências Geodésicas; Estruturas de Aplicações Orientadas a Objeto; Visualização em 3D.

ABSTRACT

This work presents an object oriented application framework for terrestrial phenomenons visualization in 3D. Based in a formal model to express terrestrial phenomenons as software objects and, in a model to persist collections of terrestrial phenomenons in a computer is presented architecture to construct object oriented applications. The architecture allows creating applications for 3D terrestrial phenomenons visualizations.

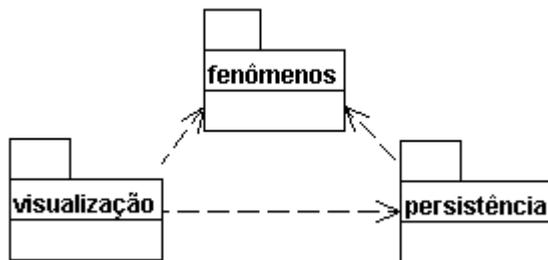
Keywords: Geodetic Science; Object Oriented Application Frameworks; 3D Computer Visualization.

1. INTRODUÇÃO

A Ciência Geodésica está rapidamente avançando para a área de visualização em três dimensões apoiada por um crescente número de instrumentos e computadores cada vez mais rápidos e com grande capacidade de armazenamento. Paralelamente, o aumento constante na capacidade de tráfego de dados por meio da Internet permite que estes computadores manipulem localmente grandes quantidades de dados originários de bases de dados geográficos remotas. Por outro lado, a construção de aplicações de visualização de dados em três dimensões é uma tarefa complexa e demorada. Uma estrutura de aplicação orientada a objetos que possa ser adaptada e estendida para a criação de aplicações específicas de visualização destes fenômenos em 3D em um ambiente computacional cliente-servidor deve simplificar a criação destes tipos de aplicações (CAMARGO; CARVALHO, 2002).

Neste trabalho estamos propondo um modelo conceitual para tal estrutura de aplicação. O modelo apresentado se apóia e complementa os modelos: *Modelo Espaço-Temporal de Fenômenos Terrestres* descrito em VIEIRA et al. (2003) e no *Modelo de Persistência dos Fenômenos Terrestres* descrito em LIMA et al. (2003). Os três modelos (fig. 1) compõem um modelo geral para representação, persistência e visualização de fenômenos terrestres.

FIGURA 1 – MODELO GERAL PARA REPRESENTAÇÃO DE FENÔMENOS TERRESTRES



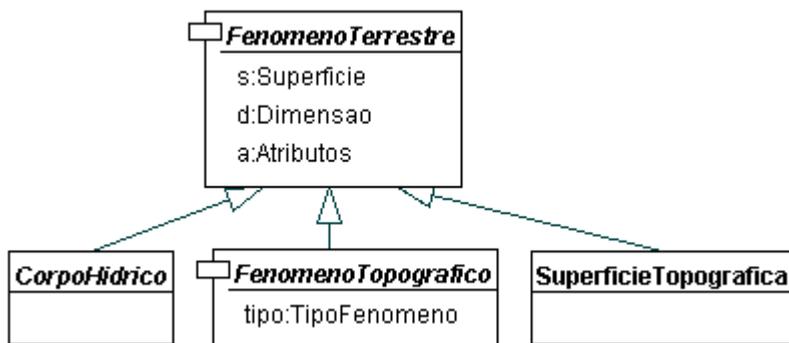
2. O MODELO ESPAÇO-TEMPORAL DE FENÔMENOS TERRESTRES

O *Modelo Espaço-Temporal de Fenômenos Terrestres* apresenta o conceito que *fenômenos terrestres* são entendimentos que se tem de fatos que ocorrem na superfície terrestre. A *superfície terrestre* representa a parte externa do planeta Terra. Sobre esta superfície existem alguns fenômenos (oceanos, rios, lagos, etc.) que são caracterizados por possuírem uma forma que se amolda à superfície terrestre criando regiões em que a superfície fica submersa. As regiões em que a superfície não fica submersa é denominada de *superfície topográfica*. Os fatos que ocorrem

sobre a superfície topográfica são chamados de *fenômenos topográficos*. A organização dos fenômenos terrestres em uma estrutura conceitual que os classifica e os define como um conjunto de objetos de software com atributos e operações que podem ser aplicados sobre eles, e define um modelo conceitual formal (VIEIRA et al., 2003).

Uma descrição sucinta do modelo espaço-temporal de fenômenos terrestres (fig. 2) é dada a seguir.

FIGURA 2 – MODELO ESPAÇO-TEMPORAL



O principal conceito do modelo é o de fenômeno terrestre o qual representa um fato que ocorre sobre a superfície terrestre. Um fenômeno terrestre é definido por um conjunto de propriedades. Segue abaixo uma descrição de cada uma destas propriedades:

atributos: conjunto de atributos cujo nome, valor e instante de observação que de cada atributo individualizam o fenômeno no tempo.

dimensao: indica a dimensionalidade da forma espacial do fenômeno, isto é, se a sua forma geométrica é composta de 0, 1, 2 ou 3 dimensões.

superfície: descrição geométrica da forma espacial do fenômeno associada a um instante de observação que a define no tempo.

Os fenômenos em geral pertencem a uma das seguintes categorias: **CorpoHidrico**, **FenomenoTopografico** ou **SuperficieTopografica**. A categoria **CorpoHidrico** representa os fenômenos que estão sobre a superfície terrestre e são constituídos de massa líquida. Esta categoria agrupa subcategorias de fenômenos tais como: oceanos, lagos, rios entre outros. A categoria **FenomenoTopografico** representa os fenômenos que estão sobre a superfície topográfica. A propriedade tipo indica a qual grupo o fenômeno pertence: imóveis, via de acesso, construção, entre outros. A categoria **SuperficieTopografica** caracteriza as superfícies não cobertas por corpos hídricos em geral.

3. O MODELO DE PERSISTÊNCIA DE FENÔMENOS TERRESTRES

O *Modelo de Persistência dos Fenômenos Terrestres* apresenta um mecanismo para armazenar em um meio computadorizado os fenômenos expressos no modelo espaço-temporal de fenômenos terrestres como objetos de dados. Este modelo de persistência de fenômenos terrestres é a base para a manutenção e busca seletiva de fenômenos (LIMA et al., 2003).

4. O MODELO DE VISUALIZAÇÃO DE FENÔMENOS TERRESTRES

O *Modelo de Visualização de Fenômenos Terrestres* define uma arquitetura de software para visualização de fenômenos terrestres em 3D. Uma arquitetura de software organiza grupos de classes em uma solução coerente, e mostra como as partes se relacionam entre si. A ênfase é na estrutura e nos relacionamentos entre as partes componentes, não em detalhes de cada parte (ARRINGTON, 2001).

O modelo está baseado na utilização da linguagem VRML (Virtual Reality Modeling Language) como meio de descrição dos fenômenos em 3D e no padrão de projeto MVC (Modelo-Visualização-Control) utilizado para modelar a visualização e os serviços de visualização dos fenômenos.

4.1 A VIRTUAL REALITY MODELING LANGUAGE (VRML)

O principal objetivo do modelo de visualização é o de gerar e mostrar em 3D grupos de fenômenos armazenados.

A VRML descreve objetos 3D em mundos ou cenas (coleção hierárquica de objetos 3D) para serem visualizadas em um ambiente interativo de visualização. A VRML foi projetada para que estas descrições possam ser utilizadas e visualizadas por meio da Internet, Intranets e sistemas locais. A VRML tem o propósito de ser uma forma padronizada de intercâmbio de dados em 3D e multimídia (WEB3D Consortium, 2002).

As cenas VRML são visualizadas por um software visualizador VRML embutido no visualizador padrão Web. A cena VRML e o visualizador VRML são modelados como classes e são os componentes centrais no modelo de visualização.

Em VRML, a representação de objetos em 3D utiliza um sistema de coordenadas Cartesianas onde o eixo Y é orientado para cima. O problema básico em representar dados com referência geográfica é o de transformar estes dados para o sistema de coordenadas cartesianas utilizado pela VRML. A biblioteca de métodos e classes GeoVRML provê a capacidade de embutir coordenadas georeferenciadas na forma de latitude/longitude ou UTM diretamente dentro de um mundo VRML. Esta capacidade estende a VRML para utilização em um contexto de visualização

global.georeferenciado. A GeoVRML suporta 3 sistemas de coordenadas, 21 elipsóides e 1 modelo de geóide (WGS84).

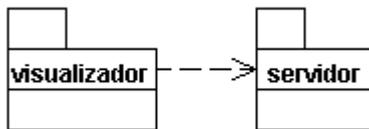
4.2 O PADRÃO DE PROJETO MODELO-VISUALIZAÇÃO-CONTROLE (MVC)

MVC é um padrão de projeto clássico para o desenvolvimento de aplicações que necessitam manter múltiplas visualizações dos mesmos objetos. O padrão de projeto MVC faz uma separação clara dos objetos de uma aplicação em três categorias: *modelo* que representam e mantêm os dados de uma aplicação; *visualização* que mostram todos os dados ou coleções de dados mantidos pela aplicação; *controladores* que tratam os eventos e solicitações que criam e alteram os objetos das categorias *modelo* ou *visualização*. Em razão desta separação, múltiplos objetos de visualização e controladores podem acessar os objetos *modelo* sem que haja a necessidade de alteração do projeto dos objetos que representam e mantêm os dados (GAMMA et. al, 1995).

4.3 A ORGANIZAÇÃO DO MODELO DE VISUALIZAÇÃO

O modelo para visualização (fig. 3) é organizado em dois grupos de classes. O pacote **visualizador** que agrupa as classes responsáveis pela visualização dos fenômenos terrestres em 3D em um computador cliente e o pacote **servidor** que agrupa as classes responsáveis pela prestação de serviços de geração de cenas VRML para visualização e pela implementação dos modelos espaço temporal e de persistência em um computador servidor.

FIGURA 3 – O MODELO DE VISUALIZAÇÃO



4.4 O MODELO DO VISUALIZADOR

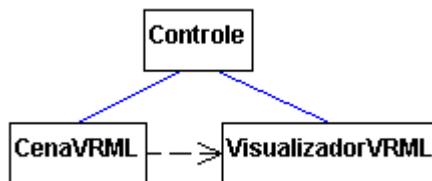
O pacote **visualizador** (fig.4) contém as classes: **CenaVRML**, **VisualizadorVRML** e **Controle**.

Os objetos da classe **CenaVRML** têm responsabilidade de manter uma cena descrita em VRML, realizar as mudanças na cena solicitadas pelo **Controle**, tratar os eventos encaminhados pelo **VisualizadorVRML** gerados pela interação do usuário com a cena renderizada e enviar as mudanças na cena para renderização pelo **VisualizadorVRML**.

Os objetos da classe **VisualizadorVRML** são responsáveis pela renderização da cena descrita em VRML para visualização pelo usuário final, pelo recebimento e pelo tratamento e encaminhamento para a **CenaVRML** dos eventos de interação direta do usuário com a cena renderizada por ele.

Os objetos da classe **Controle** têm a responsabilidade pelo controle total da visualização no computador cliente, receber solicitações de serviços ou tratamento de eventos gerados pela interação com o usuário, mostrar as opções de visualização, solicitar cenas em VRML para o **Controle** no servidor, receber solicitações de mudanças na cena visualizada e encaminhar estas solicitações aos objetos **CenaVRML** e **VisualizacaoVRML** para tratamento.

FIGURA 4 - MODELO DO VISUALIZADOR



4.5 O MODELO DO SERVIDOR

O pacote **servidor** (fig. 5) é composto das classes: **Controle**, **Modelo**, **Visão** e uma interface **Persistência**.

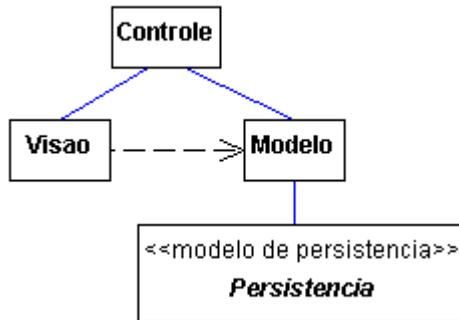
Os objetos da classe **Modelo** são responsáveis pelo acesso e tratamento dos fenômenos segundo o modelo espaço-temporal.

A interface **Persistência** provê os serviços de acesso aos fenômenos armazenados de acordo com o modelo de persistência.

Os objetos da classe **Visão** têm a responsabilidade de gerar cenas VRML solicitadas pelo **Controle** utilizando o **Modelo** para obtenção dos fenômenos.

A classe **Controle** é responsável pelo controle total dos serviços de visualização no computador servidor. As solicitações de serviços enviadas pelo **Controle** da visualização são recebidas, verificadas e encaminhadas para os objetos **Modelo** e **Visão** para tratamento.

FIGURA 5 – MODELO DO SERVIDOR



5. CONCLUSÃO

O modelo de visualização apresentado está sendo usado para implementação de uma estrutura de aplicação orientada a objetos para visualização de fenômenos terrestres em Java pelo Departamento de Geomática e pelo Departamento de Informática da Universidade Federal do Paraná conforme proposta de dissertação de mestrado apresentada por CAMARGO (2002).

6. REFERÊNCIAS

ARRINGTON, CT. **Enterprise Java with UML**. New York: John Wiley & Sons, Inc. 2001.

BOOCH, G.; RUMBAUGH, J.; JACOBSON, I. **The Unified Modeling Language User Guide**. Reading, MA: Addison-Wesley-Longman, Inc., 1999.

CAMARGO, N. F. **VFT: Uma Estrutura de Aplicação para Visualização de Fenômenos Topográficos em 3D via Web**. Curitiba, 2002. 23 f. Proposta de dissertação (Mestrado em Informática) - Curso de Pós-Graduação em Informática, Universidade Federal do Paraná

CAMARGO, N. F.; CARVALHO C. A. P. Estruturas de Aplicação Orientadas a Objetos: Uma Tecnologia para Reutilização de Projetos de Software. In: **1º. Simpósio Sul-Brasileiro de Matemática e Informática**. 2002, Curitiba. Anais disponível em: <http://www.uniandrade.br/simposio/anais.htm>. Acesso em: 20 nov.. 2002.

GAMMA, E. et al. **Design Patterns**: Elements of Reusable Object-Oriented Software. Reading, MA: Addison-Wesley, 1995.

LIMA, J. D. et al. Persistência de Fenômenos Terrestres Representados como Objetos. In: **Anais do III Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas**. Curitiba, Paraná. Curso de Pós Graduação em Ciências Geodésicas da Universidade Federal do Paraná. 2003

VIEIRA, A. J. B. et al. Modelo Espaço-Temporal de Fenômenos Terrestres. In: **Anais do III Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas**. Curitiba, Paraná. Curso de Pós Graduação em Ciências Geodésicas da Universidade Federal do Paraná. 2003

WEB3D Consortium. **VRML Specification**. Disponível em: <http://www.web3D.org>
Acesso em 10 jun. 2002.

FUNÇÃO DE SIMILARIDADE PARA TIN - DISCUSSÃO

Henrique Firkowski

Universidade Federal do Paraná – firk@ufpr.br

RESUMO

Neste trabalho são apresentadas algumas reflexões acerca da determinação de uma função de similaridade para uma representação de superfície topográfica por meio de uma TIN (Triangular Irregular Network). A determinação de uma função de similaridade é um requisito para a aplicação da Teoria Matemática da Comunicação de Shannon – TMC, a um problema qualquer de comunicação. A TMC foi proposta para a avaliação de sistemas eletrônicos de comunicação e pode ser aplicada a problemas de sintaxe na comunicação cartográfica. Para o caso de uma função de similaridade para representação de superfície topográfica por meio de TIN procura-se estabelecer quais dados são usados como elementos da comunicação e de que forma podem ser comparados para determinar de similaridade ou dissimilaridade. A utilização de triângulos como elementos de comunicação e o relacionamento entre a altitude e a declividade das faces dos triângulos devem ser considerados na expressão das função de similaridade. Além da função de similaridade devem ainda ser estabelecidos a forma de determinar a tolerância para utilização com a função de similaridade e também determinar o critério de remoção de pontos que reduzem a eficiência do processo de comunicação. A redução de pontos de uma representação de superfície topográfica envolve o conceito de generalização cartográfica. Processo de generalização cartográfica de dados de representação de superfície conduz à suavização desta representação.

Palavras-chave: Teoria da Comunicação; TIN; Generalização; Suavização

ABSTRACT

This paper presents some discussion about a similarity function approach for TIN (Triangular Irregular Network) surface representation. A similarity function is used in Communication Theory for any kind of communication problem. This theory was originally proposed for evaluating electronic communication systems and it can be applied to cartographic communication problems. For topographic surface representation it is necessary to identify which data has to be used as communication

elements in which the similarities or dissimilarities can be detected. For TIN representation the data is organized into triangles, and these are the communication elements. It may be possible to define similarity between triangles in several ways, each one of them explore a particular characteristic of the triangles for certain purposes. For triangles representing topographic surface the altitude and the slope of the triangles must be considered for the similarity function. Besides defining the similarity function it is important to provide tolerance values for this similarity function. It is necessary to define an approach for eliminating those points that reduce the TMC's useful information. Reducing points in a surface representation may imply in cartographic generalization. Generalization of surface cartographic representation leads to surface smoothing.

Keywords: Communication Theory; TIN; Generalization; Smoothing

1. INTRODUÇÃO

A tendência de utilização de interatividade em ambientes computacionais cartográficos impõe a necessidade de desenvolver procedimentos de manipulação de dados cartográficos planimétricos e altimétricos. Em geral a representação computacional da superfície topográfica constitui-se de conjuntos de dados discretos em que a importância de cada posição e relacionamento com seus vizinhos baseia-se em algum aspecto ligado à escala de representação, ao propósito da representação a à consideração acerca do comportamento da superfície para a interpolação de posições. Desse modo, com a variação da escala de visualização corrente da aplicação pode ocorrer excesso de dados e excesso de processamento pela adoção de escala de visualização menor do que aquela para a qual os dados foram coletados.

A eficiência da interatividade pode ser prejudicada se a necessidade de operação sobre dados demandar tempo que a torne incômoda. A adequação de volumes de dados ao propósito da visualização pode ser alcançada pela aplicação de operação baseadas em conceitos de generalização cartográfica. A redução de volumes de dados representativos da superfície topográfica implica na suavização da superfície. Assim pode-se dizer que a suavização uma operação de generalização cartográfica aplicável a representação da superfície topográfica. A representação da superfície por meio de TIN (Triangulated Irregular Network) é realizada sob a consideração de que os pontos representativos da superfície quando organizados em triângulos determinam permitem determinar qualquer posição da superfície naquela região. A redução do número de pontos necessários para a representação da superfície pode ser útil como forma de redução de volume de dados.

A Teoria Matemática da Comunicação de Shannon - TMC proporciona meios de se avaliar a eficiência de um sistema de comunicação. Esta teoria pode ser

aplicada ao aspecto sintático da comunicação cartográfica (BJORKE, 1996). O aspecto mais importante na aplicação da TMC a um problema qualquer está na identificação de uma função de similaridade a ser aplicada aos dados (BJORKE 1996, 1997; FIRKOWSKI et al. 2001, 2002). Neste trabalho discute-se uma forma de se estabelecer uma função de similaridade para TIN.

2. TEORIA MATEMÁTICA DA COMUNICAÇÃO

A Teoria Matemática da Comunicação ou Teoria da Comunicação de Shannon foi proposta por Shannon no final da década de 1940 como solução para a avaliação de sistemas eletrônicos de comunicação (KHINCHIN, 1957). A teoria da comunicação proporciona um meio de se avaliar o montante de informação presente nos dados a serem representados e do montante de informação dos dados representados (BJORKE, 1996, 1997; FIRKOWSKI et al. 2001, 2002). O paralelo entre um sistema eletrônico de comunicação e o processo cartográfico de comunicação pode estar baseado no aspecto sintático da comunicação cartográfica. Num sistema de comunicação um conjunto de informações é transmitido por um emissor e um conjunto de informações é recebido. Para o caso da cartografia um conjunto de dados deve ser representado segundo algum processo, e após a representação deve satisfazer a algum critério de legibilidade ou clareza. Em ambos os casos a comunicação será prejudicada se a informação recebida no sistema de comunicação não for compreensível ou se a representação cartográfica não atingir seu objetivo comunicação eficiente.

A quantidade de informação dos dados pode ser determinada usando o conceito de entropia da teoria da comunicação. Do mesmo modo a quantidade de informação dos dados representados pode ser determinada. Diferentes quantidades de informação antes e depois da representação indica deficiência no processo de comunicação.

A teoria da comunicação está baseada na probabilidade de dois conjuntos de eventos. O primeiro contém os eventos a serem representados e suas respectivas probabilidades. O segundo contém os eventos representados, no entanto a representação em si não deve necessariamente acontecer porque o resultado da representação é avaliado por meio de uma função de similaridade. A função de similaridade trata os eventos como se tivessem sido representados. A função de similaridade expressa um critério de determinação de similaridade entre os eventos. Os dados de que se dispõe devem permitir identificar o que são os eventos. A função de similaridade deve ser capaz de detectar similaridades entre tais eventos. A aplicação da TMC a problemas de cartografia e as consequentes funções de similaridade podem ser encontradas em trabalhos de Borkje (BJORKE 1996, 1997) e de Firkowski et al. (FIRKOWSKI et al. 2001, 2002; FIRKOWSKI 2002).

A função de similaridade avalia similaridades entre eventos. O resultado da avaliação da similaridade entre dois eventos é um escalar pertencente ao intervalo $[0,1]$. Quando dois eventos comparados forem similares no grau máximo, seu valor de similaridade será 1. Quando um evento for comparado a si próprio a similaridade resultará 1. Quando dois eventos forem dissimilares o valor da similaridade resultará 0. E finalmente, quando os eventos comparados forem parcialmente similares o valor da similaridade estará compreendido no intervalo $[0,1]$.

O conceito de informação útil da TMC permite detectar a eficiência da comunicação. A informação útil será máxima quando não houver similaridade entre diferentes eventos. Quanto maior a ocorrência de similaridades entre eventos menor será a informação útil. A equivocação é um valor intermediário no cálculo da informação útil. Tem significado oposto ao significado da informação útil. Quando maior a equivocação menor será a informação útil. Para equivocação nula a informação útil será máxima.

A consideração de que a TMC será aplicada a representação de superfície topográfica por TIN, implica na adoção do triângulo como o evento a ser avaliado com a função de similaridade. A cada evento deve ser associada uma probabilidade, o que permitirá calcular a entropia do conjunto de eventos antes do processo de comunicação. A seguir discute-se o estabelecimento de uma função de similaridade para triângulos.

3. SIMILARIDADE PARA TRIÂNGULOS DE UMA TIN

Para ser possível estabelecer uma função de similaridade é necessário definir a fonte de dados e por extensão o que são os eventos (BJORKE 1996). Para o caso da representação da superfície topográfica por uma TIN os eventos são os triângulos. De acordo com a TMC devem ser atribuídas probabilidades a cada um dos eventos, que neste caso são os triângulos do conjunto de triângulos (TIN).

A discussão do significado do que é ser similar depende do propósito a que se destina a conclusão acerca da similaridade ou dissimilaridade. Existem muitas possibilidades de se estabelecer significado de similaridade por comparação de pares de triângulos. São características possíveis de sofrer comparações a forma, o valor numérico da área, a orientação maior dimensão da figura, a declividade ou a altitude média. Por exemplo, pode-se dizer que dois triângulos são similares porque têm aproximadamente a mesma forma, isto é, tem ângulos internos ou externos com valores próximos entre si e numa mesma ordenação, independentemente do seu valor de área. Este seria um caso em que apenas a forma dos triângulos sendo similar poderia acarretar baixa informação útil durante o processo de comunicação. Pode-se dizer também, que dois triângulos serão considerados completamente similares se a diferença no valor numérico das suas áreas for inferior a, por exemplo,

5%, e o serão em graus mais baixos quando a diferença for maior do que este valor de tolerância de 5%. Neste caso a proximidade entre valores numéricos de área de triângulo passa a prejudicar a comunicação.

Cada uma destas considerações expressas numa uma função de similaridade tem propósitos específicos e devem ser usadas para propósitos específicos. No caso da representação da superfície, e em especial da superfície topográfica, o significado de similaridade entre os triângulos deve estar relacionado ou considerar a altitude. Mesmo limitando a similaridade ao aspecto altimétrico pode-se ainda produzir funções de similaridade de considerável complexidade. Por exemplo, pode-se considerar a declividade da face triangular isoladamente ou em conjunto com a sua orientação. Pode-se também considerar a similaridade como sendo apenas função da altitude média de cada triângulo e utilizar a diferença entre as altitudes médias para quantificar a similaridade no intervalo $[0,1]$.

Neste trabalho busca-se discutir o estabelecimento de uma função de similaridade para TIN. Esta função de similaridade deve ser tal que possibilite a tomada de decisão em termos de redução de pontos amostrais. Os pontos amostrais são utilizados na geração de triangulações baseadas no critério de Delaunay.

Para o caso de simplificação, como na generalização cartográfica, busca-se reduzir o número de pontos amostrais e com o conseqüência o número de triângulos. Após a redução de pontos espera-se o aumento da informação útil visto que deve ocorrer uma redução na similaridade entre os eventos, entre os triângulos. A redução de pontos amostrais de uma representação de superfície qualquer conduz quase sempre a uma suavização desta representação. Para o caso específico da uma TIN, a remoção de pontos amostrais é tarefa complexa, visto que demanda a realização de nova triangulação.

Determinadas as similaridades entre os triângulos de uma TIN, há a necessidade de se expressar formalmente um critério que governe a eliminação dos pontos arranjados em triângulos. Pode-se supor que um triângulo é similar a um conjunto de outros triângulos que tem em comum um determinado vértice e assim este vértice seria desnecessário. Neste caso pode-se ter como critério de remoção de pontos a eliminação de pontos que pertençam ao maior número de triângulos simultaneamente e que sejam similares. Pode-se estabelecer também como critério de remoção a manutenção de triângulos tendentes a equiláteros, ou seja, remover apenas aqueles pontos que desfaçam triângulos com dois ângulos muito pequenos e um ângulo próximo de dois ângulos retos.

Pode-se impor limitações à remoção de pontos de modo que todos aqueles pontos importantes para a triangulação sejam preservados. Desse modo a remoção de pontos não pode ocorrer para pontos que delimitam a região sob pena de alterar a sua forma ou seu contorno. A eliminação de pontos também não deve ocorrer para casos particulares como aqueles em que são formados triângulos com pontos em

bordas de lagos ou rios. Os pontos que representam linhas de máximo ou linhas de mínimo.

A função de similaridade apropriada para TIN deve depender da altitude. Mais especificamente deve ser função da declividade da face triangular de cada triângulo. A partir da determinação da função de similaridade deve-se, como em qualquer processo de avaliação, estabelecer valor ou valores de tolerância para a aplicação da referida função. Novamente aparece uma questão importante, a determinação da tolerância. Segundo McMaster e Shea (McMASTER e SHEA 1992), o estabelecimento de valores de tolerância em operadores de generalização é uma etapa crítica neste processo. A definição de valores de tolerância inapropriados podem conduzir a resultados inesperados. Valores muito altos podem ter como resultado eliminação de dados excessiva, e valores de tolerância muito baixos podem resultar em eliminação pouco significativa. No caso de superfície topográfica pode-se buscar estabelecer os valores de tolerância nos próprios dados da superfície, por meio da média ou do desvio-padrão.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A aplicação de conceitos da Teoria Matemática da Comunicação ao problema de redução dados para representação de superfície topográfica por meio da TIN pode ser promissor. Deve-se, no entanto, considerar todos as imposições e requisitos dos dados coletados. Durante a fase de coleta de dados para a representação da superfície topográfica por meio de TIN considera-se que devem ser determinadas as altitudes e a posição de pontos de máximo, pontos de mínimo, pontos que determinam limites de feições cartográficas artificiais. A utilização do conceito de entropia e de informação útil pode levar a detecção de dados que não adicionam informação à representação. A importância da declividade como elemento de comparação de similaridade deve ser explorada. Permanece a dificuldade de estabelecer o critério de eliminação de coordenadas. Os aspectos práticos de implementação estão sendo realizados e deverão apontar o caminho para a aplicação da TMC ao problema de detecção e eliminação de dados de uma representação de superfície topográfica por meio de TIN.

5. REFERÊNCIAS

BJORKE, J.T. Framework for Entropy-based Map Evaluation. **Cartography and Geographical Information Systems**, LOCAL v. 23, n.2, p. 78-95, 1996.

BJORKE, J.T. Map Generalisation: An Information Theoretic Approach to Feature

Elimination. In: 18TH INTERNATIONAL CARTOGRAPHIC CONFERENCE, 18., 1997, Stocolm. **Anais ...** Stocolm: ICA, 1997. p. 480-486.

FIRKOWSKI, H., SLUTER, C.R., CARVALHO, C.A.P., Generalização Cartográfica Automatizada e o Conceito de Entropia. In: XX Congresso Brasileiro de Cartografia, 2001. Porto Alegre. **Anais ...** CDROM.

FIRKOWSKI, H., CARVALHO, C.A.P., SLUTER, C.R., Possibilidade de detecção de coalescência na representação de marcas gráficas usando o conceito de entropia. In: **Série em Ciências Geodésicas - V1 30 Anos da Pós-Graduação no Brasil**. Curitiba: Imprensa Universitária da UFPR, 2001. p. 318-332.

FIRKOWSKI, H. **Generalização de grades retangulares regulares baseada na Teoria Matemática da Comunicação**. Curitiba, 2002, 158f. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas). Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Universidade Federal do Paraná.

FIRKOWSKI, H., CARVALHO, C.A.P., SLUTER, C.R., Detecção de dados superabundantes em modelos digitais de terreno e a Teoria Matemática da Comunicação de Shannon. **Série em Ciências Geodésicas – V2 Pesquisas em Ciências Geodésicas**. Curitiba: Imprensa Universitária da UFPR, 2002. p. 327-342.

KINCHIN, A.I. **Mathematical Foundations of Information Theory**. 1.ed. New York: Dover Publications, 1957.

McMASTER, R., SHEA, K.S. **Generalization in Digital Cartography**. 1.ed. Washington: Association of American Geographers, 1992.



FOTOGRAMETRIA
E
SENSORIAMENTO REMOTO

O EMPREGO DA TECNOLOGIA LASER NA CARTOGRAFIA

Maria Cecília Bonato Brandalize¹
Jürgen W. Philips²

¹ Departamento de Engenharia Civil – PUCPR mcbonato@rla01.pucpr.br

² Pós-Graduação em Engenharia Civil – UFSC jphilips@gmx.de

RESUMO

A tecnologia laser tem sido, desde a década de 70, uma grande aliada dos produtores de mapas uma vez que tem proporcionado rapidez e economia na geração de produtos básicos de qualidade. Tal tecnologia tem se mostrado tão eficaz na determinação precisa de distâncias que, aliada a outras técnicas, como o posicionamento por satélites e a navegação inercial, tem possibilitado descrever tridimensionalmente não só estruturas e objetos localizados sobre a superfície do terreno (por meio da técnica denominada *Laser Scanning*), como também, a própria superfície terrestre (empregando tal técnica a partir de instrumentos aerotransportados). O presente trabalho aborda, portanto, a inserção da tecnologia laser na Cartografia, por meio dos variados instrumentos utilizados na consecução das diversas técnicas por ela compreendidas, ressaltando-se sua importância, principalmente, para a Topografia e Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto.

Palavras-chave: Tecnologia Laser; Cartografia; Medida de Distâncias.

ABSTRACT

The Laser Technology has been, since the 70's, one of the greatest allied of mapping producers, once it has provided quickness and economy during the generation process of quality cartographic basic products. Such technology has shown its efficiency in the precise distance determination and, when allied to other techniques, like satellite positioning and inertial navigation, has enabled to describe three-dimensionally not only structures and objects located on the ground surface (for example, by means of the laserscanning technique), as well as the ground surface itself (applying such technique by means of airborne instruments). Consequently, the present work boards the laser technology insertion into Cartography, describing the great variety of laser instruments employed by its several techniques, pointing out its

importance mainly to Topography and Geodesy, Photogrammetry and Remote Sensing.

Keywords: Laser Technology; Cartography; Distance Measurement.

1. INTRODUÇÃO

A Cartografia, definida em Oliveira (1980) como um *conjunto de estudos e operações científicas, artísticas e técnicas, baseado nos resultados de observações diretas ou de análise de documentações, visando a elaboração e preparação de cartas, projetos e outras formas de expressão, bem como sua utilização* (ICA - *International Cartographic Association*), tem seu desenvolvimento atrelado aos avanços tecnológicos alcançados por outras áreas do conhecimento humano, mais especificamente, aqueles alcançados pela Física e pela Informática.

Dentre estes avanços, a invenção do LASER - *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*, em 1960, constituiu um feito da maior importância.

Graças a esta tecnologia encontram-se disponíveis atualmente, para uso na Cartografia, os mais variados tipos de instrumentos, abrangendo desde a utilização de uma simples trena eletrônica à giroscópios e perfiladores/varredores (*scanners*) de alta precisão.

Portanto, este trabalho tem como objetivo ampliar o conhecimento dos acadêmicos e profissionais da área cartográfica quanto ao atual emprego da tecnologia laser na Cartografia.

2. A TECNOLOGIA LASER

A partir da invenção do LASER, em 1960, muitos experimentos se seguiram até que a tecnologia a ele associada pudesse ser empregada com eficiência.

Os primeiros instrumentos a laser utilizados com o intuito de gerar informações cartográficas foram empregados, em campo, para a medida eletrônica de distâncias (horizontais, verticais e/ou inclinadas), passando a integrar a família dos então denominados EDMs - *Electronic Distance Measurement*, também conhecidos como *distanciômetros eletrônicos*.

O primeiro EDM a empregar a tecnologia eletro-ótica para a medida de distâncias foi o Geodímetro, invenção do físico sueco Dr. Erik Bergstrand, em 1953. Em 1957, na África do Sul, o Dr. T. L. Wadley inventou o Telurômetro, primeiro instrumento a empregar a tecnologia de microondas para o mesmo fim. O primeiro nível laser rotatório, para uso na construção civil, surgiu na Alemanha em 1968. Foi na Alemanha que surgiu também, em 1971, a primeira estação total, utilizada na determinação conjunta de ângulos e distâncias.

O funcionamento básico de um instrumento laser destinado à medida de distâncias compreende:

- a emissão e recepção de ondas eletromagnéticas cujos comprimentos de onda (λ) variam entre 180nm (ultravioleta) e 1mm (infravermelho distante), intervalo próprio da radiação laser; e
- a reflexão, por um anteparo, das ondas emitidas.

No método conhecido por TOF - *Time of Flight* (próprio dos sistemas pulsados de alta potência e curta duração), a distância é função do intervalo de tempo transcorrido entre a emissão e recepção da radiação laser e da sua velocidade de propagação.

Outros métodos de medida de distâncias utilizando lasers podem ser empregados, dependendo do instrumento, alcance e precisão. São eles: modulação de frequência (telemetria), triangulação e interferometria.

3. LASERES EMPREGADOS NA CARTOGRAFIA

Os lasers comumente empregados na Cartografia operam:

- No modo contínuo (CW) ou pulsado (P), com potência e duração variáveis. Nos instrumentos terrestres a potência média de saída da radiação laser é da ordem do miliwatt (mW) enquanto a duração de um pulso é da ordem do segundo (s). Nos instrumentos aéreos a potência média de saída chega ao quilowatt (kW) enquanto a duração de um pulso é da ordem do nanosegundo (10^{-9} s). Tais instrumentos podem operar ainda com taxas de repetição (ou PRR - *Pulse Repetition Rate*, medida em pulsos por segundo) muito altas, na ordem do quilohertz (kHz).
- No intervalo de comprimento de onda (λ) entre 500 e 1100nm, abrangendo tanto lasers visíveis (feixes de cor vermelha, verde ou azul) como invisíveis (infravermelho próximo).
- Em diferentes níveis de segurança para a pele e olhos humanos. Todos os instrumentos a laser são classificados, quanto à sua periculosidade, de acordo com dois padrões mundialmente conhecidos: o padrão americano FDA CFR 21, compreendendo as Classes I, IIa, II, IIIa, IIIb e IV; e o padrão internacional IEC 60825-1, compreendendo as Classes 1, 2, 3A, 3B e 4. Este último sofreu modificações em 2001, passando a adotar as Classes 1, 1M, 2, 2M, 3R, 3B e 4. Os danos biológicos provocados pela radiação laser estão diretamente relacionados ao seu comprimento de onda, potência, duração e taxa de repetição. (Brandalize & Philips, 2002)

A tabela a seguir apresenta exemplos de instrumentos empregados na Cartografia que baseiam seu funcionamento na tecnologia laser.

TABELA 1 – INSTRUMENTOS TERRESTRES E AÉREOS BASEADOS NA TECNOLOGIA LASER

Varredor Laser Aerotransportado					
Fabricante/Modelo	Modo	Potência	Duração	λ	Classe
TopoSys GmbH/TopoSys II	P	NE	5.0ns	1535nm	1
Estação Total					
Fabricante/Modelo	Modo	Potência	Duração	λ	Classe
Pentax/R100-Series	P	0.95mW (máx.)	0.3 a 2.0s	620 a 690nm	II
Sokkia/SET4110R	P	NE	3.1 a 3.7s	830nm	1
Trimble-Spectra Precision/5600-Series	P	NE	0.4 a 3.5s	850nm	1
Nível Laser					
Fabricante/Modelo	Modo	Potência	Duração	λ	Classe
Leica-Laser Alignment/ LB-400	CW	4mW	-	633nm	IIIa
Sokkia/LP30 GC	CW	1mW (máx.)	-	785nm	1
Topcon/GC RL-HA	CW	1mW (máx.)	-	780nm	1
Trimble-Spectra Precision/L800	CW	1mW	-	670nm	II
Prumo Laser					
Fabricante/Modelo	Modo	Potência	Duração	λ	Classe
Leica-Laser Alignment	CW	0.95mW (máx.)	-	620 a 690nm	II

Todo laser, de acordo com Hecht (1986), compreende três elementos chaves. São eles: o *material* ou *meio ativo*; o *mecanismo de excitação* ou *estimulador da radiação*; e a *cavidade ótica* ou *ressonador* (como mostra a figura a seguir).

FIGURA 1 – ELEMENTOS COMPREENDIDOS POR UM LASER



O primeiro elemento é responsável pela geração da radiação laser e pode ser gasoso, líquido, sólido ou híbrido. O segundo é responsável pelo fornecimento da energia necessária para a geração da radiação laser e pode ser, entre outros, ótico, elétrico ou químico. O terceiro, por sua vez, é responsável pela concentração da luz gerada e por sua emissão na forma contínua ou pulsada, sendo normalmente constituído por um par de espelhos planos, no qual um deles é altamente reflexivo e o outro parcialmente transmissivo.

É o *material ativo* utilizado (e, até certo ponto, o tipo de *mecanismo de excitação*) que determina o comprimento de onda da luz emitida pelo laser. Por sua vez, a qualidade da *cavidade ótica* ou *ressonador* determina a potência de saída deste.

Os lasers normalmente empregados na Cartografia são feitos de materiais sólidos cristalinos ou de materiais sólidos semicondutores (é importante ressaltar que alguns autores consideram os semicondutores como lasers não pertencentes à classe dos sólidos).

A tabela a seguir apresenta os tipos de lasers utilizados por alguns dos instrumentos empregados na Cartografia.

TABELA 02 – TIPOS DE LASERES UTILIZADOS NA CARTOGRAFIA

Varredor Laser Aerotransportado				
Fabricante/Modelo	Tipo	Meio	PRR	λ
LH Systems/ALS40	Cristalino	Nd:YVO ₄	15-25kHz	1084nm
Optech/ALTM 1020	Cristalino	Nd:YLF	20kHz	1047nm
USA Army Corps of Engineers/SHOALS	Cristalino	Nd:YAG	400Hz	1064nm 532nm
Varredor Laser Terrestre				
Fabricante/Modelo	Tipo	Meio	PRR	λ
CYRA/CYRAX 2500	Cristalino	Nd:YAG	800Hz	532nm
MDL-Measurements Devices Ltd/ILM 300HR	Semicondutor	GaAs	1kHz	905nm
Riegl Laser Measurement Systems/LMS-Z210	Semicondutor	GaAs	28kHz	900nm
Nível Laser				
Fabricante/Modelo	Tipo	Meio	PRR	λ
Nikkon/NL-300E	Semicondutor	GaAs	-	670nm

O semicondutor mais utilizado é o *gallium arsenide* (GaAs). Neste laser a radiação é gerada por meio de uma corrente elétrica intensa (*mecanismo de*

excitação denominado *injeção*) ou por meio de um feixe de elétrons altamente energizados. Tal laser é também denominado *laser diodo* ou *laser de injeção*.

O cristal mais utilizado é o *Neodymium Doped Yttrium Aluminum Garnet* (Nd:YAG). Neste laser a radiação é gerada por meio de um dispositivo ótico externo (*flashlamp*), ou ainda, por meio de um laser diodo.

O cristal Nd:YAG difere dos cristais Nd:YLF (*Neodymium Doped Yttrium Lithium Fluoride*) e Nd:YVO₄ (*Neodymium Doped Yttrium OrthoVanadate*) não só na composição química, como também, em algumas propriedades físicas tais como a estrutura do cristal, tempo de fluorescência e índice de refração. Este último constitui, atualmente, um dos lasers de estado sólido excitados por diodo laser mais eficientes do mercado.

4. AVANÇOS MAIS RECENTES

Não é de admirar que, com a evolução da tecnologia laser, não só os instrumentos como os processos associados à produção cartográfica tivessem evoluído.

Um exemplo característico dessa evolução é o que ocorre atualmente com o processo fotogramétrico. Há algumas décadas somente (pouco mais de vinte anos), todo o processo para obtenção de cartas via aerofotogrametria, no Brasil, era analógico. Isto significa dizer que, tanto a obtenção das fotografias em campo (por meio de câmaras utilizando filme), como a extração das informações via estereorestituidores, além da revisão e impressão final do produto, constituíam etapas não automatizadas do processo. Naquela época, a única etapa que contava com um pouco de automatização era o apoio de campo, que se utilizou primeiramente dos teodolitos e distanciômetros eletrônicos, mais tarde evoluindo para as estações totais e os coletores de dados. Os primeiros estereo-restituidores analíticos chegaram ao Brasil somente em meados da década de 80, desencadeando, devido ao seu custo, um processo de automatização dos instrumentos então disponíveis, de analógicos para semi-analíticos. A evolução que se seguiu alcança, hoje, patamares nunca sonhados. O próprio processo fotogramétrico sofreu modificações, extinguindo algumas etapas, como as de desenho, gravação (por *scribe*) e impressão por processo fotográfico; e introduzindo outras, como as de varredura laser, escanização de filmes e processamento digital de imagens. A tecnologia laser está presente, portanto, não só na varredura realizada por instrumentos aerotransportados que, associados ao posicionamento por satélites (GPS) e à navegação inercial (giroscópio laser), permitem gerar com maior confiabilidade modelos digitais de superfície (MDSs) e de elevação (MDEs), agilizando o processo de obtenção de ortofotografias; como também, no próprio armazenamento dos produtos gerados, compreendendo desde a utilização de impressoras laser até os gravadores de CD-ROM.

Outros sistemas de varredura laser, surgidos há pouco mais de três décadas, passaram a ser utilizados na coleta de dados atmosféricos, oceanográficos e topográficos a partir de satélites artificiais e naves espaciais. Tais sistemas, denominados LIDAR (*Light Detection and Ranging*), contribuíram para o desenvolvimento de muitas das técnicas atuais de Sensoriamento Remoto. Entre os mais recentes, encontram-se:

TABELA 03 – SISTEMAS DE SENSORIAMENTO REMOTO BASEADOS NA TECNOLOGIA LASER

Sistema	Descrição	Objetivo Principal	Administrador e Ano de Lançamento
GLAS	<i>Geoscience Laser Altimeter System</i>	Observações atmosféricas, incluindo algumas características das superfícies geladas da Terra	NASA/GSFC 01/2003
LVIS	<i>Laser Vegetation Imaging Sensor</i>	Medida direta da topografia e altura da vegetação	NASA/GSFC 1998
MOLA	<i>Mars Orbiter Laser Altimeter</i>	Mapa topográfico de Marte	NASA 11/1996
SLA	<i>Shuttle Laser Altimeter</i>	Obtenção de dados topográficos e de vegetação e medida dos níveis de <i>aerosol</i> na atmosfera terrestre	NASA/GSFC 02/1996 e 08/1997
SLICER	<i>Scanning LIDAR Imager of Canopies by Echo Recovery</i>	Informações sobre a distribuição vertical da cobertura vegetal terrestre	NASA/GSFC 1994 a 1997
VCL	<i>Vegetation Canopy LIDAR</i>	Caracterização da estrutura tridimensional da Terra	NASA/GSFC Meados de 2003 (previsão)

Fenômenos geofísicos, como o monitoramento instantâneo e contínuo da rotação terrestre e a indicação das várias componentes rotacionais de um abalo sísmico, bem como, a influência da lua nas marés terrestres, podem ser atualmente estudados por meio de sistemas que funcionam como giroscópios laser.

O maior giroscópio laser já construído compreende um ressonador retangular com 21m de comprimento e 17,5m de largura. Tal giroscópio, designado por UG1 (*ultra-large ring laser*), encontra-se num laboratório localizado a 30m de profundidade no subúrbio de Christchurch, Nova Zelândia. O UG1 é o sucessor de outros giroscópios laser instalados e testados neste mesmo laboratório (C-I, entre

1988 e 1991; C-II e G-0, em 1997) e o predecessor do UG2, um giroscópio laser ainda maior e mais sensível, atualmente em fase de construção.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em virtude de tamanho desenvolvimento, o quê mais é possível esperar em relação às pesquisas com laseres e suas futuras aplicações na cartografia?

Pode-se dizer que muito ainda.

Como exemplo, cita-se o fato de que até fevereiro de 2001 haviam, em operação no mundo, cerca de 55 sistemas de altimetria laser aerotransportados. Com um crescimento médio de 25% ao ano, em 2004, espera-se que estejam em operação mais de 100 destes sistemas (Flood, 1999).

No que diz respeito, portanto, aos laseres aplicados à cartografia, o mínimo que se pode esperar dos equipamentos baseados nesta tecnologia, é um aumento gradativo da precisão e velocidade de medida, além da diminuição da sua complexidade e custo.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRANDALIZE, M. C. B.; PHILIPS, J. W. **Padrões de Classificação de Equipamentos Laser Utilizados em Levantamentos Terrestres e Aéreos**. In: Anais do 5º Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário - COBRAC 2002. Florianópolis, UFSC, 2002. 1CD-ROM.

FLOOD, M. **Commercial Development of Airborne Laser Altimetry: Review of the Commercial Instrument Market and its Projected Growth**. In: ISPRS Workshop on Mapping Surface Structure and Topography by Airborne and Spaceborne Lasers. La Jolla: ISPRS, November 9-11, 1999. WG III/5 & WG III/2. Vol. 32, Part 3W14, p. 13-20.

HECHT, J. **The Laser Guidebook**. Singapore, McGraw-Hill Editions, 1986. 381p.

OLIVEIRA, C. de. **Dicionário Cartográfico**. Rio de Janeiro, IBGE, 4ª. Edição, 1993. 645p.

INCORPORAÇÃO DE DADOS AUXILIARES PARA MELHORAR A CLASSIFICAÇÃO DA VEGETAÇÃO

¹Aguinaldo Araújo Silva Filho

²Jorge Silva Centeno

³Ana Lúcia Bezerra Candeias

- 1 Sec. de Ciência, Tec. e Meio Ambiente - aguinaldoaraujo@zipmail.com.br
- 2 Universidade Federal do Paraná - centeno@geoc.ufpr.br
- 3 Universidade Federal de Pernambuco - analucia@ufpe.br

RESUMO

O trabalho tem como objetivo estudar a integração de dados auxiliares para melhorar a classificação digital da imagem do satélite Landsat na diferenciação de tipos florestais. Sendo os dados auxiliares relacionado com a topografia do lugar. A área de estudo escolhida localiza-se entre os paralelos de coordenadas 08° 00' 00" e 08° 29' 44" Sul e os meridianos de coordenadas 36° 29' 13" e 36° 29' 26" Oeste de Wgr. Abrange parte dos municípios de Belo Jardim, Brejo da Madre de Deus e Tacaimbó, estes situados no Agreste pernambucano. A metodologia consiste em classificar a imagem que recobre a área de estudo pelo método supervisionado utilizando o algoritmo da máxima verossimilhança ; integrar dados auxiliares antes, durante e depois do processo de classificação da imagem; e analisar os resultados que forem gerados. Para isto, os resultados da aplicação das técnicas de estratificação geográfica, incorporação dos dados como banda auxiliar durante a classificação e a reclassificação como pós processamento são comparados e discutidos. O algoritmo de classificação escolhido é o da máxima verossimilhança gaussiana, disponível no sistema SPRING de processamento de imagens. Como primeiro experimento, a imagem resultante da composição dos canais 5, 4, 3 foi classificada pelo processo supervisionado utilizando-se o algoritmo da Máxima Verossimilhança (Maxver). O mapa temático resultante foi avaliado através de amostras de verificação, sendo verificado um índice de confusão média de 10.35%. Num segundo experimento, efetuou-se a classificação utilizando todas as variáveis, isto é, a imagem multiespectral e os dados de altitude, representados como uma quarta banda. O resultado obtido revela que a confusão média entre classes diminuiu significativamente de (1.11%), principalmente no topo dos morros, onde a vegetação do tipo arbóreo é mais frequente.

Palavras-chave: Classificação; Topografia; Dados auxiliares.

ABSTRACT

The work studies the integration of auxiliary data to improve the digital classification of the image of the satellite Landsat in the differentiation of forest types. Being the auxiliary data related with the topography of the place. The study area chosen here is located among the parallel of coordinates $08^{\circ} 00' 00''$ and $08^{\circ} 29' 44''$ South and the meridians of coordinates $36^{\circ} 29' 13''$ and $36^{\circ} 29' 26''$ West of Wgr. This area is a part of the municipal districts of Belo Jardim, Brejo da Madre de Deus and Tacaimbó, these placed in the Rural from Pernambuco. The methodology consists of classifying the image that recovers the study area for the supervised method using the algorithm of the maximum likelihood; to integrate auxiliary data before, during and after the process of classification of the image; and to analyze the results that be generated. For this, the results of the application of the techniques of geographical bedding, incorporation of the data as auxiliary band during the classification and the reclassification as powders processing is compared and discussed. The algorithm of chosen classification is it of the gaussian maximum likelihood, available of the system SPRING of processing of images. As first experiment, the resulting image of the composition of the channels 5, 4, 3 were classified by the supervised process being used maximum likelihood algorithm. The resulting thematic map was evaluated through verification samples, being verified an index of medium confusion of 10.35%. In a second experiment, he occurred the classification using all the variables, that is, the image multispectral and the altitude data, represented as a fourth band. The obtained result reveals that the medium confusion among classes decreased significantly of (1.11%), mainly in the top of the hills, where the vegetation of the arboreal type is more frequent.

Key-words: Classification; Topography; Ancilares data.

1. INTRODUÇÃO

A vegetação de regiões com clima semi-árido é caracterizada por ter a fenologia de grande parte de sua flora controlada pela disponibilidade de água, que por sua vez apresenta grande variabilidade espacial e temporal. Estas características levam freqüentemente a situações de redução da capacidade de suporte dos ecossistemas semi-áridos que se não forem acompanhados de controles na utilização destes ecossistemas, podem desencadear processos de degradação muitas vezes de recuperação bastante lenta. É esta vegetação que nos períodos de estiagem

representa uma alternativa de fonte de renda para os produtores rurais. Portanto, necessita-se desenvolver técnicas que represente a realidade mais próxima do terreno para que se possa monitorar o desenvolvimento vegetativo das coberturas vegetais e as áreas de cobertura vegetal das regiões semi-áridas para melhor administrá-las.

A análise digital de dados, mais especificamente, imagens digitais de sensoriamento remoto orbital, possibilitou, nos últimos vinte e cinco anos, um grande desenvolvimento das técnicas voltadas para a análise de dados multidimensionais, adquiridos por diversos tipos de sensores. Estas técnicas têm recebido o nome de processamento digital de imagens.

A classificação automática e semi-automática de imagens de satélites vem facilitando diversas áreas do conhecimento. Em nosso caso desejamos classificar melhor dados de vegetação a partir de uma imagem de satélite. Como a imagem traz a informação bidimensional do lugar nem sempre tem-se uma real classificação, então é necessário desenvolver técnicas para incorporar dados auxiliares no processo de classificação da imagem de forma que permita um mapa mais próximo da realidade do terreno.

O maior problema da classificação, de acordo com (Crosta, 1992), é que ela representa uma simplificação bastante grande em relação à enorme complexidade existente na cena visto que ela possui uma dependência da resposta espacial e espectral. O que ocorre é que as classes pré-definidas para a classificação são normalmente uma simplificação em relação à realidade terrestre.

A mistura extremamente variável de uma série de objetos reais, incluídos em um mesmo pixel, irão influenciar também no resultado da classificação. Sendo assim, pode ser cometido erros ao se definir classes que não existam, pois o nível de cinza resultante pode não representar aquele dado tema.

Portanto faz-se necessário a verificação dos resultados das classificações em relação a dados conhecidos do terreno. Então, quaisquer tipos de informações sobre os objetos e superfícies a serem classificados serão auxílios importantes à classificação.

Outro problema da classificação é em relação à maioria das técnicas de processamento da imagem disponíveis, que são baseadas apenas no agrupamento de valores de intensidade espectral, representados pelos níveis de cinza presentes na imagem. Ocorre que, as técnicas padrões só dão conta das características espectrais, desprezando as características texturais e outras.

Uma forma de melhorar a classificação é incluir algumas variáveis auxiliares para estratificar uma determinada classe. Um exemplo seria usar a altimetria para estratificar a vegetação na área em estudo. Já que ela é uma variável importante no porte, tipo e densidade da vegetação.

Outras abordagens sobre a melhoria da classificação seria incluir dados não espectrais auxiliares quando se faz classificação supervisionada, não supervisionada

e/ou classificação fuzzy para extrair a informação desejada. Existe uma variedade de métodos, incluindo o uso de estratificação geográfica, lógica de classificação em camadas e sistemas especialistas (Strahler *et al.*, (1978) ; Hutchinson, (1982)).

A partir do exposto acima, vários cientistas (por exemplo: Strahler *et al.*, (1978); Hutchinson, (1982)), melhoram a acurácia e a qualidade da classificação derivada do sensoriamento remoto pela incorporação de dados auxiliares no processo de classificação.

Várias abordagens podem ser utilizadas para incorporar dados auxiliares no processo de classificação de imagens, de modo a melhorar os resultados. Entre elas a incorporação de dados antes, durante ou após a classificação através de estratificação geográfica, operações de classificadores e/ou escolha pós classificação (Hutchinson, 1982).

Diante do contexto, nesse trabalho utiliza-se a altimetria como dado auxiliar por haver disponibilidade desse dado em forma digital e também por esse dado estar diretamente ligado a ocorrência de tipos florestais nesta região. Nada impede que se use outra variável, por exemplo o solo como dado auxiliar, uma vez que este exerce uma forte influencia na ocorrência de tipos florestais.

Assim, o presente trabalho descreve o resultado de experimentos a respeito do uso da altimetria como variável auxiliar no processo de classificação de imagens Landsat. Para isto, um modelo digital do terreno foi gerado com a mesma resolução das imagens multiespectrais.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo foi escolhida por se ter um grande conhecimento da mesma, onde o autor realizou mapeamento da vegetação, estudos batimétricos no açude Bitury, levantamento sócio-econômico, participou no inventário florestal e levantamento de consumo de produtos florestais. Esta localiza-se entre os paralelos de coordenadas 08° 00' 00" e 08° 29' 44" Sul e os meridianos de coordenadas 36° 29' 13" e 36° 29' 26" Oeste de Wgr. Abrange parte dos municípios de Belo Jardim, Brejo da Madre de Deus e Tacaimbó, estes situados no Agreste pernambucano, Figura 01. Está área fica situada na zona de transição entre duas regiões com situações geográficas distintas, o Litoral / Mata e o Sertão, refletida pela umidade e o relevo. Apresenta um tipo climático característico (Tropical Sub-úmido), de temperaturas médias anuais entre 22° e 24°C. As condições climáticas são muito heterogêneas, uma vez que o relevo é muito movimentado e tem forte influência, não só sobre a temperatura, como também sobre a umidade relativa do ar e o regime pluviométrico. O relevo se constitui de uma sucessão de degraus e superfícies aplainadas, com variações altimétricas que chegam a atingir altitudes superiores a

800 metros. Contudo, nas áreas de maiores altitudes e expostas aos ventos alísos de sudeste, aparecem os “Brejos de Altitude” , originalmente cobertos por matas serranas e nas altitudes inferiores a 800 metros aparece uma vegetação arbustiva arbórea aberta ou fechada . A vegetação predominante é a Caatinga hipo e hiperxerófila, cujas espécies apresentam perda das folhas, árvores retorcidas, dotadas de espinhos e a presença de Cactáceas e Bromeliáceas.

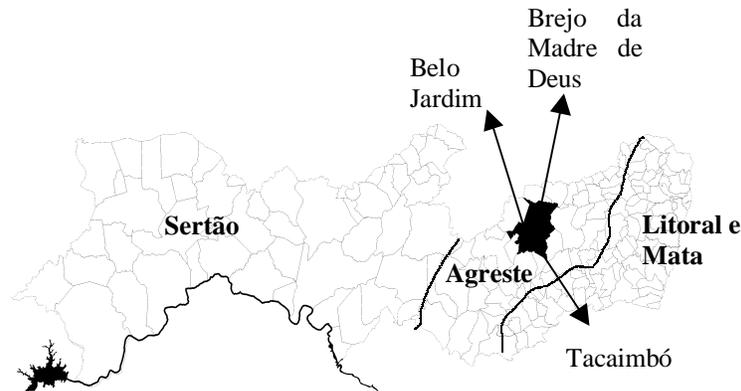


FIGURA 01- MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Conforme Silva Filho (1993), o projeto PNUD/FAO/IBAMA/Governo de Pernambuco mapeou a vegetação lenhosa desta região em 1993, por meio da interpretação visual de imagem de satélite (Landsat – 5, TM), escala 1 : 100.000 , composição colorida dos canais 5, 4 e 3 em papel fotográfico. Este mapeamento permitiu identificar 3 tipos florestais em cada região fisiográfica do Estado, a saber :

- Tipo Florestal AG 2, – Vegetação Arbustiva Arbórea Aberta, com espécies de altura média de 3,0 metros e emergentes de 5,0 metros; ocorrem em solos rasos arenosos e pedregosos, na maioria das vezes em áreas que indicam um processo de regeneração. Nestas áreas a topografia é suave e as maiores alturas são menores ou igual 550 metros.
- Tipo Florestal AG 3, – Vegetação Arbustiva Arbórea Fechada, caracterizada por espécies com altura média de 4,0 metros e indivíduos emergentes de 7,0 metros. Ocorre normalmente em áreas de topografia de suave a ondulada, em solos profundos do tipo areno-argilosos, sendo freqüente a presença da pedregosidade

e afloramentos rochosos. Este tipo de vegetação apresenta-se nas encostas e topos de serras entre as alturas de 550 a 750 metros.

- Tipo Florestal AG 4, – Vegetação Arbórea Fechada, com presença de alguns arbustos, altura média de 5,0 metros e emergentes com mais de 8,0 metros, ocorre principalmente nas encostas e nos topos de serras. Nestas áreas a topografia é de ondulada a fortemente ondulada e acontece nas alturas maiores de 750 metros, onde surgem os famosos “Brejos de Altitudes”.

2.2 MATERIAIS UTILIZADOS

Foram utilizados os seguintes materiais: carta topográfica, folha SC.24-X-B-III, escala 1:100.000, elaborada pela 3ª Divisão do Serviço Geográfico do Exército para a Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste – SUDENE, em 1986; carta de vegetação em 1:100.000, elaborada em 1992, por meio de classificação visual de imagens do satélite Landsat TM-5, em papel fotográfico, composição colorida das bandas 3, 4 e 5; carta altimétrica, da área de estudo em formato digital dxf; imagem Landsat TM-5, 215/066, data de obtenção 07/05/2001, georeferenciada; GPS; máquina fotográfica digital; pentium II, e programas auxiliares.

2.3 METODOLOGIA

A metodologia utilizada neste trabalho desenvolveu-se no Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas-SPRING (Versão 3.6) e consistiu basicamente nas três etapas a seguir:

- Classificação da imagem que recobre a área de estudo pelo método supervisionado utilizando o algoritmo da máxima verossimilhança (MaxVer);
- Realização da integração dos dados auxiliares antes, durante e depois do processo de classificação da imagem;
- Analisar os resultados que forem gerados;

2.3.1 CLASSIFICAÇÃO DA IMAGEM DA A ÁREA DE ESTUDO

O Sistema SPRING permite a classificação supervisionada e não supervisionada. Portanto, nesta pesquisa, classificou-se a imagem, que recobre a área de estudo, pelo método supervisionado utilizando-se a técnica de máxima verossimilhança (MaxVer), com este sistema. O treinamento foi obtido com base no mapa de vegetação e na pesquisa de campo, foram utilizadas 45 amostras, sendo 15 amostras em cada classe.

Iniciando o processo de classificação, fez-se a composição das bandas 5, 4 e 3 da imagem e em seguida o realce. Para o treinamento supervisionado identificou-se no mapa de vegetação áreas representativas de cada classe e as correspondentes na imagem. Neste procedimento teve-se o cuidado de escolher amostras bastante homogêneas de cada classe na imagem, mas ao mesmo tempo procurou-se incluir toda a variabilidade dos níveis de cinza do tema em questão.

Este sistema permite também realizar, antes da classificação, a análise quantitativa da qualidade das amostras que participarão do treinamento no momento da classificação. Assim, foram eliminadas as amostras que apresentaram confusão média acima de 10%. De posse das amostras e das bandas escolhidas, a imagem foi classificada com um limiar de aceitação de 95%.

2.3.2 GERAÇÃO DOS DADOS AUXILIARES

A formação do modelo numérico de terreno-MNT foi iniciada com entrada da altimetria (formato (dxf)) no sistema por meio da importação dos dados. A partir desses dados gerou-se uma grade retangular de 30m x 30m (compatível com a resolução da imagem utilizada) e a declividade no modo MDT do sistema. O fatiamento foi gerado a partir da grade retangular e os temas da imagem temática tiveram como base nos intervalos de ocorrência dos tipos florestais (0 – 550, 550 – 750 e > 750 metros) identificados na pesquisa de campo e na observação dos mapas de vegetação e topográfico da área de estudo. Desta forma, um Plano de Informação de categoria numérica originou um Plano de Informação de categoria temática (fatiamento) representando um aspecto particular do modelo numérico de terreno. O sistema também permitiu a geração da imagem em níveis de cinza (de 0 a 255) para o modelo numérico de terreno, onde a resolução (em metros) da imagem de saída tem a mesma da grade retangular que a gerou.

2.3.3 INCORPORAÇÃO DOS DADOS AUXILIARES NO PROCESSO DE CLASSIFICAÇÃO ANTES, DURANTE E DEPOIS

Um Sistema de Informações Geográficas (SIG) é um ambiente computacional para integrar dados cartográficos, cadastrais, de sensores remotos, redes e modelos numéricos de terreno. Permite também consultar, recuperar, visualizar, manipular e plotar o conteúdo de um banco de dados "georeferenciados". É uma ferramenta poderosa para análise e manipulação de um grande número de informações espaciais (Câmara, 1993).

A partir da interpretação de imagens orbitais de multisensores e multitemporais, são extraídas informações sobre as principais variáveis do meio físico (geomorfologia, hidrologia, solos, uso da terra e cobertura vegetal e clima) que influenciam nos fatores condicionantes do meio físico (altimetria, hipsometria,

declividade, exposição das vertentes e geomorfologia). Estas informações podem ser integradas e classificadas por meio de um SIG.

A metodologia da incorporação de dados auxiliares antes do processo de classificação de imagens é composta de quatro etapas: Em primeiro lugar gera-se três imagens binárias (BI(1), B(2) e BI(3)) fatiando-se o modelo numérico do terreno, onde considera-se os intervalos de alturas em relação a ocorrência dos tipos florestais. Sendo os seguintes intervalos: 0 – 550, 550 – 750 e > 750 metros. As regras para geração das imagens binárias são as seguintes:

- 1) Na geração de BI(1): MNT(1) \rightarrow 0 para alturas menor ou igual a 750m e 1 para maior que 750m;
- 2) Na geração de BI(2): MNT(2) \rightarrow 0 para alturas menor que 550m e maior que 750m e 1 para maior que 550m e menor ou igual que 750m;
- 3) Na geração de BI(3): MNT(3) \rightarrow 0 para alturas maior que 550m e 1 para menor ou igual que 550m.

Fatia-se a imagem original por meio do cruzamento de cada banda original com a imagem binária correspondente ao intervalo de alturas onde ocorre cada tipo florestal, conforme o quadro 1. Assim, gera-se três composições de imagens fatiadas (TM543F(1), TM543F(2) e TM543F(3)) com um número menor de classes.

QUADRO 1 – CRUZAMENTO DAS BANDAS ORIGINAIS COM AS IMAGENS BINÁRIAS

Cruzamentos	Cruzamento	Cruzamento	Cruzamento
I	TM5 x B(1)	TM5 x B(2)	TM5 x B(3)
II	TM4 x B(1)	TM4 x B(2)	TM4 x B(3)
III	TM3 x B(1)	TM3 x B(2)	TM3 x B(3)
(I+II+III) Gera	TM543F(1)	TM543F(2)	TM543F(3)

Finalmente, faz-se o realce e a classificação separadamente de cada composição fatiada, juntando este conjunto chega-se a classificação final da imagem original com o uso de dados auxiliares antes do processo de classificação da imagem.

A metodologia da incorporação de dados auxiliares durante o processo de classificação de imagens consistiu na formação de uma composição das três bandas 5, 4 e 3 mais a imagem de níveis de cinza (altimetria) do MNT, que recobrem a área de estudo, gerando uma nova imagem e em seguida fazendo o realce e a classificação do conjunto pelo processo supervisionado utilizando-se o algoritmo da Máxima Verossimilhança-Maxver obtém-se a imagem classificada com o uso do dado auxiliar durante o processamento.

Incorporação de dados auxiliares após o processo de classificação de imagens. Neste caso classifica-se primeiro a imagem, que recobre a área de estudo, pelo

método supervisionado utilizando-se a técnica de máxima verossimilhança (MaxVer), e com os dados do MNT (fatiamento) faz-se a classificação dos pixels com base nos intervalos das alturas que definem a ocorrência das classes de tipos florestais. Este processo é realizado com o cruzamento de dois planos de informações PI1 (Imagem classificada) e PI2 (fatiamento). Para isto pode-se utilizar a programação LEGAL do SPRING ou outro sistema que permita o cruzamento de dois planos de informações.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

No primeiro experimento, o mapa temático resultante da classificação da imagem em estudo com o algoritmo supervisionado MaxVer sem a utilização de dados auxiliares foi avaliado através da matriz de erro (contingência) das amostras de verificação, sendo verificado um índice de confusão média de 10.35%, Quadro 2.

QUADRO 2 - MATRIZ DE ERROS DA CLASSIFICAÇÃO TM 5, 4 e 3 (imagem 2001)

Classes temáticas	Verdade de campo				S. Linha
	Ag2	Ag3	Ag4	Abste	
Ag2	3597 19.09%	1006 5.34%	34 0.18%	209 0.11%	4846
Ag3	429 1.32%	1292 6.86%	77 0.41%	44 0.23%	1662
Ag4	26 0.14%	558 2.96%	11218 59.55%	529 2.81%	12331
Soma Col.	3872	2856	11329	782	18839

Classes temáticas	Exatidão do produtor	Exatidão do usuário
Ag2	92.90%	77.57%
Ag3	45.24%	79.85%
Ag4	99.02%	95.05%

Colunas : dados de referencia

Desempenho geral: 85.50 %

Confusão média : 10.35 %

Abstenção media : 4.15 %

Estilística KHAT : 74.09 %

Variância KHAT : 1.609e-005

Estatística TAU : 78.25 %

Num segundo experimento, efetuou-se a classificação utilizando todas as variáveis, isto é, a imagem multiespectral e os dados de altitude, representados como uma quarta banda. O resultado obtido revela que a confusão média entre classes diminuiu significativamente de (1.11%), principalmente no topo dos morros, onde a vegetação do tipo arbóreo é mais frequente, Quadro 3.

QUADRO 3 - MATRIZ DE ERROS DA CLASSIFICAÇÃO DA COMPOSIÇÃO NC(altimetria),5, 4 e 3 (imagem) 2001

Classes temáticas	Verdade de campo				S. Linha
	Ag2	Ag3	Ag4	Abste	
Ag2	2319 0.50%	47 0.11%	0.00 0.00%	161 0.38%	2527
Ag3	421 1.00%	7698 18.26%	0.00 0.00%	404 0.96%	8523
Ag4	0.00 0.00%	0.00 0.00%	28968 68.72%	2138 5.07%	31106
Soma Col.	2740	7745	28968	2703	42156

Classes temáticas	Exatidão do produtor	Exatidão do usuário
Ag2	84.64%	98.01%
Ag3	99.39%	94.81%
Ag4	100.00%	100.00%

Colunas : dados de referencia

Desempenho geral: 92.48 %

Confusão média : 1.11 %

Abstenção média : 6.41 %

Estatística KHAT: 84.61 %

Variância KHAT: 5.297e-006

Estatística TAU : 88.72 %

A incorporação de dados auxiliares no processo de classificação do sensoriamento remoto é uma alternativa importante em estudos baseados especificamente na análise per-pixel da informação. Entretanto a escolha de variáveis a serem incluídas é crítica. O bom senso sugere que analistas devem escolher inteligentemente, somente variáveis de significado prático e conceitual para

o problema da classificação que se apresenta. Incorporar dados auxiliares ilógicos ou suspeitos podem consumir rapidamente recursos limitados para a análise de dados e conduzir a resultados inaccurados (Jensen, 1986).

Neste trabalho apresentou-se a metodologia para dados auxiliares. A implementação do uso destes dados está em fase de desenvolvimento.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CÂMARA, G. Anatomia de sistemas de informações geográficas: visão atual e perspectivas de evolução. In: ASSAD, E.D., SANO, E.E. Sistema de informações geográficas: aplicações na agricultura. Brasília, EMBRAPA, 1993.

CROSTA, A. P. Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto. Campinas: IG/UNICAMP, 1992.

HUTCHINSON, F. C. Techniques for Combining Landsat and Ancillary Data for Digital Classification Improvement. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, 48(1):123-130, 1982.

JENSEN, J. R. Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective. 2nd. Ed., Saddle River, N. J. : Prentice-Hall, 1986, 316p.

SILVA FILHO, A. A. et al. Mapeamento do Cobertura Florestal Nativa Lenhosa do Estado de Pernambuco. In: **Desenvolvimento Florestal Integrado no Nordeste.** FO: BRA/87/007, Documento de Campo N°17, Recife, 26p, 1998.

STRAHLER, A. H. et al. Improving forest Cover Classification accuracy from Landsat by incorporation topographic information. **Proceedings of the Twelfth international Symposium on remote sensing of environment**, Michigan, p. 927-942, 1978.

5. AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao departamento de engenharia cartográfica – Decart da Universidade Federal de Pernambuco por disponibilizar sua estrutura.

A secretária de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente por disponibilizar sua estrutura e os materiais.

EXTRAÇÃO SEMI-AUTOMÁTICA DO EIXO DE RODOVIA EM IMAGENS DE MÉDIA E ALTA RESOLUÇÃO USANDO PROGRAMAÇÃO DINÂMICA

Giovane Maia do Vale¹
Aluir Porfírio Dal Poz²

1 Universidade Estadual Paulista – gmvale@prudente.unesp.br

2 Universidade Estadual Paulista – aluir@prudente.unesp.br

RESUMO

Este trabalho propõe uma metodologia semi-automática para a extração de rodovias, em imagens de média e alta resolução, baseada no algoritmo de otimização global por programação dinâmica. Esta metodologia é uma versão modificada de um método preexistente para a extração de rodovias em imagens de baixa resolução. É importante enfatizar que as rodovias em imagens de baixa resolução possuem uma característica linear e, conseqüentemente, as correspondentes feições extraídas coincidem com as respectivas rodovias. Em contrapartida, em imagens de média e alta resolução, as rodovias aparecem como faixas estreitas e alongadas e o alvo da extração são os seus eixos centrais. Neste caso, a metodologia preexistente destinada à extração em imagens de baixa resolução se mostra incapaz de proceder a extração de forma acurada. No sentido de se sanar esta deficiência, propõe-se a modificação da função objetivo original a fim de que esta passe a incorporar uma definição matemática para o eixo de rodovia, utilizando-se, para tanto, informações inerentes às bordas. Os resultados obtidos demonstraram o potencial do algoritmo na extração do eixo de rodovia em imagens de média e alta resolução.

Palavras-chave: Programação Dinâmica; Análise de Bordas; Extração de Rodovias.

ABSTRACT

This work presents a semi-automatic methodology for road extraction from medium- and high-resolution images, based on the global optimization algorithm of dynamic programming. This methodology is a modified version of a preexisting method of extraction of roads from low-resolution images. It is important to emphasize that the roads in low-resolution images manifest as line and, as a result, the corresponding extracted features coincide with the respective roads. On the other hand, in medium- and high-resolution images, the roads appear as narrow and elongated regions and the goal of the extraction is its central axes. In this case, the preexisting dynamic

programming methodology designated to specially extract roads from low-resolution images proved to be unable to accurately extract road center axes from medium- and high-resolution images. In order to correct this deficiency, a modification of the original objective function is proposed, in such way it incorporates a road center axis definition. The obtained results demonstrated the potential of the algorithm in the extraction of the road axis from medium- and high-resolution images.

Keywords: Dynamic Programming; Edge Analysis; Road Extraction.

1. INTRODUÇÃO

A aquisição de informações espaciais é uma das tarefas mais dispendiosa e morosa na implantação e na manutenção de Sistemas de Informação Geográfica (SIG's). Nos últimos 30 anos, inúmeras pesquisas foram realizadas objetivando a redução do tempo e do custo da aquisição de informações espaciais. No que se refere a aquisição de informações espaciais a partir de imagens digitais, os métodos desenvolvidos que estão mais próximos desta meta são aqueles cujos níveis de automação são mais altos. Como as soluções totalmente automáticas não estão ainda no mesmo nível de confiabilidade dos métodos manuais, soluções semi-automáticas combinando a habilidade natural de operadores humanos em tarefas de reconhecimento e a capacidade de algoritmos computacionais em realizar tarefas de medidas precisas e morosas, têm sido propostas. No tocante aos extratores de rodovias, é possível identificar dois esquemas básicos de extração semi-automática. No primeiro, é necessário que o operador forneça a posição e a direção em um ponto inicial, a partir do qual a extração ocorrerá. No segundo, o operador necessita fornecer alguns pontos semente descrevendo a forma e a posição da rodovia. Nos métodos semi-automáticos o reconhecimento do alvo de extração é feito pelo operador e o algoritmo encarrega-se do delineamento da rodovia. Pode-se citar como exemplo do primeiro esquema: a) sistemas baseados na análise de consistência de perfis da superfície intensidade extraídos transversalmente ao eixo da rodovia (Vosselman e de Knecht, 1995; Mendes e Dal Poz, 2002); b) análise de bordas anti-paralelas (Nevatia e Babu, 1980); c) uma combinação entre análise de bordas e análise de consistência (McKeown e Delinger, 1988; Dal Poz, 2001a); e d) em teste ativo (Geman e Jedynak, 1996, Dal Poz e Silva, 2002). Exemplos do segundo esquema são: a estratégia de otimização global por programação dinâmica (Merlet e Zerubia, 1996; Gruen e Li, 1997, Dal Poz, 2001), o princípio do contorno ativo, *snakes* (Kass et al., 1987; Gruen e Li, 1997) e a estratégia envolvendo redes neurais (Doucette et al., 2001). Quando o reconhecimento da rodovia a ser extraída, isto é, a detecção de pontos semente, é feita pelo algoritmo, a metodologia resultante pode ser considerada como sendo automática. Os métodos automáticos visam eliminar a

necessidade da intervenção do operador humano no processo de extração. Estes métodos se baseiam na integração da informação contextual e no conhecimento *a priori* do objeto rodovia. Baumgartner et al. (1999) seguem esta linha teórica e apresentam uma metodologia em que o contexto, técnicas de agrupamento perceptivo e diferentes resoluções são usados para extrair a malha viária em imagens de alta resolução. O mesmo grupo (Laptev et al., 2000) também usa um tipo especial de *snakes* para reconstruir as descontinuidades, cujo princípio consiste em otimizar um segmento perturbado e localizado entre dois pontos dados. Wang e Trinder (2000) descrevem um outro método para a extração automática da malha viária, mas específico para imagens de baixa resolução. Este método usa técnicas de detecção e extração de linhas para encontrar as candidatas às rodovias e conhecimento *a priori* sobre malha viária para eliminar as falsas rodovias.

A metodologia apresentada neste artigo baseia-se nos trabalhos de Dal Poz (2000) e de Dal Poz e Agouris (2001), nos quais uma solução para um modelo matemático geral de rodovia, em imagens de baixa resolução, é encontrada através do algoritmo de programação dinâmica. Entretanto, são propostas alterações substanciais ao modelo matemático, de forma que informações sobre as bordas da rodovia sejam consideradas, possibilitando ao modelo matemático de rodovia a incorporação da definição explícita do eixo da rodovia. Em decorrência, a metodologia resultante pode ser usada na extração de rodovias em imagens de média e de alta resolução.

Na seção 2 são apresentados os fundamentos teóricos da metodologia preexistente de extração semi-automática de rodovias através do algoritmo de programação dinâmica. A alteração ao modelo é apresentada na seção 3. Os resultados experimentais obtidos e análises efetuadas encontram-se na seção 4. Finalmente, na seção 5 são apresentadas as principais conclusões.

2 METODOLOGIA EXISTENTE PARA EXTRAÇÃO DE RODOVIAS USANDO PROGRAMAÇÃO DINÂMICA

O objeto rodovia possui características próprias como sua geometria (largura, curvatura etc.), sua radiometria (reflectância) e ainda um ente topológico. Estas três características constituem o modelo geométrico, radiométrico e topológico de rodovias. A extração de rodovias usando programação dinâmica consiste em encontrar o máximo de uma função objetivo, a qual é construída a partir de propriedades geométricas e radiométricas das rodovias. Este problema de encontrar o máximo da função objetivo envolve essencialmente uma estratégia de otimização global através do algoritmo de programação dinâmica. Visto que este método é semi-automático, o papel do operador consiste na identificação de pontos sementes ao longo da rodovia, descrevendo-a grosseiramente, gerando dessa forma uma linha poligonal inicial. Esta linha poligonal é então refinada através de uma estratégia

iterativa que envolve o uso do algoritmo de otimização global por programação dinâmica, ressaltando-se que o processo otimiza ternas de pontos consecutivos da linha poligonal, p_{i-1} , p_i e p_{i+1} . Inicialmente um novo vértice é inserido linearmente a cada par de vértices preexistentes. Em cada um dos três pontos sendo avaliados, abrem-se então janelas de busca unidimensionais, transversais à linha poligonal, que se destinam à avaliação de pontos à direita e à esquerda da terna. Encontram-se, dessa forma, possíveis novos candidatos que maximizarão a função objetivo. Nos demais passos o processo se repete de modo análogo, gerando linhas poligonais que, gradativamente, mais se aproximam da forma da rodovia. O processo converge quando novos vértices inseridos não contribuem mais com o refinamento da linha poligonal, descrevendo assim a rodovia. Ressalta-se que, a cada iteração, todos os vértices são avaliados, inclusive os preexistentes

O modelo genérico de rodovias, sobre o qual o processo de otimização brevemente descrito acima é baseado, é desenvolvido a partir de seis propriedades básicas das rodovias, sendo que três são fotométricas e três geométricas. As propriedades fotométricas são: 1) os pixels de uma rodovias são mais claros que os de fundo; 2) em distâncias curtas o material (concreto ou asfalto) da rodovia varia pouco, isto é, a reflectância ao longo da rodovia sofre pouca variação; e 3) a rodovia é uma feição linear de alta intensidade de brilho e os pontos mais distantes dessa curva tem menor influência na definição da mesma. As propriedades geométricas são: 1) as rodovias são curvas suaves, normalmente compostas por segmentos retos e arcos circulares; 2) sua curvatura local é limitada por um limiar, evitando a formação de quinas; e 3) a variação de largura não é significativa. As propriedades geométricas e radiométricas formam o arcabouço teórico para formular o modelo genérico de rodovia denominado função objetivo. Matematicamente, a função objetivo é dada por (Dal Poz, 2000; Dal Poz e Agouris, 2001):

$$E = \sum_{i=1}^{n-1} ((Ep_1 - \beta Ep_2 + \gamma Ep_3) \cdot [1 + \cos(\alpha_i - \alpha_{i+1})]) / \Delta S_i = \sum_{i=1}^{n-1} E_i(p_{i-1}, p_i, p_{i+1}) \quad (01)$$

$$C_i = |\alpha_i - \alpha_{i+1}| < T, \quad \beta, \gamma > 0 \quad (02)$$

onde, Ep_1 , Ep_2 e Ep_3 são parâmetros que incorporam as propriedades fotométricas e geométricas; α_i é a direção definida por dois pontos consecutivos (p_{i-1} e p_i) da linha poligonal; α_{i+1} é a direção definida agora pelos pontos consecutivos p_i e p_{i+1} da linha poligonal; ΔS_i é a distância entre os pontos p_{i-1} e p_i e T é um limiar angular de curvatura predefinido.

C_i é uma injunção que limita o espaço de busca. Esta injunção evita que as ternas que não satisfaçam o limiar de curvatura T não sejam avaliadas pela função objetivo, evitando desperdício computacional desnecessário.

Conforme mostra a equação 01, a função objetivo pode ser decomposta numa seqüência de funções dependendo apenas de três vértices sucessivos da linha poligonal representando a rodovia. Em outras palavras, apenas 6 variáveis (coordenadas cartesianas da terna p_{i-1} , p_i e p_{i+1}) da função objetivo são relacionadas simultaneamente. É nesse caso que o algoritmo de programação dinâmica torna-se o mais indicado para resolver eficientemente o problema inerente de otimização (Ballard e Brown, 1982). A solução corresponde a uma linha poligonal representando a rodovia e é tal que maximiza a função objetivo. Cabe ressaltar que quando a imagem utilizada é de média ou de alta resoluções a rodovia extraída geralmente não corresponde exatamente ao eixo da rodovia. Como uma observação final, tendo em vista da limitação de espaço neste artigo, é impossível descrever o algoritmo de programação dinâmica, podendo ser encontrado em detalhes em Ballard e Brown (1982) e Dal Poz (2000).

3 METODOLOGIA MODIFICADA DE PROGRAMAÇÃO DINÂMICA PARA EXTRAÇÃO DE RODOVIAS EM IMAGENS DE ALTA E MÉDIA RESOLUÇÃO

Na seção 2 foi brevemente apresentada a metodologia preexistente de extração de rodovias por programação dinâmica. Tal metodologia possui grande robustez e destina-se à extração de rodovias em imagens de baixa resolução, onde as feições de interesse possuem aparência linear. Foi argumentado também que, quando o algoritmo de programação dinâmica é usado em imagens de média ou de alta resoluções o eixo extraído não corresponde necessariamente ao eixo verdadeiro, sendo que nas regiões de maior curvatura tal problema se mostra de forma nítida (Dal Poz, 2000). Como foi mostrado em Vale (2003), esse problema pode ser resolvido através de uma modificação no modelo de rodovia (função objetivo, eq. 01), a fim de que o mesmo venha incorporar informações de borda. O princípio de bordas anti-paralelas (Nevatia e Babu, 1980) é o princípio teórico básico para a modificação proposta.

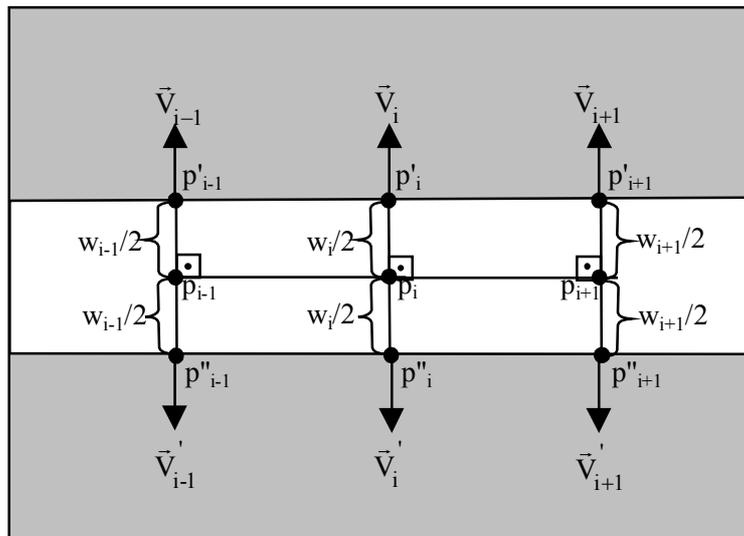
3.1 MODELO DE RODOVIA MODIFICADO

A definição do eixo se dá pelo acréscimo de uma injunção à função objetivo (eq. 01) na forma de um triplo produto entre produtos escalar dos vetores gradiente (anti-paralelos) nos pontos de bordas de rodovia (Vale, 2003):

$$E = \sum_{i=1}^{n-1} \left[E_i(p_{i-1}, p_i, p_{i+1}) - \langle \vec{V}_{i-1}, \vec{V}'_{i-1} \rangle \cdot \langle \vec{V}_i, \vec{V}'_i \rangle \cdot \langle \vec{V}_{i+1}, \vec{V}'_{i+1} \rangle \right] \quad (03)$$

onde \vec{V}_{i-1} , \vec{V}'_{i-1} , \vec{V}_i , \vec{V}'_i , \vec{V}_{i+1} e \vec{V}'_{i+1} são, respectivamente, vetores anti-paralelos relacionados com as seções transversais definidas nos pontos p_{i-1} , p_i e p_{i+1} (figura 1).

FIGURA 1 – SEGMENTO DE EIXO DE RODOVIA



A segunda parcela do somatório da equação 03 é denominada injeção de borda e visa considerar aspectos peculiares às bordas das rodovias, que são:

- **Anti-paralelismo:** esta propriedade baseia-se no fato de que dois vetores gradiente de pixels situados em margens opostas da rodovia e pertencentes ao mesmo corte transversal de rodovia, são aproximadamente anti-paralelos, i.e., eles possuem mesma direção e sentidos opostos; e
- **Perpendicularismo:** vetores gradiente de pixels das bordas das rodovias são aproximadamente perpendiculares ao eixo da rodovia.

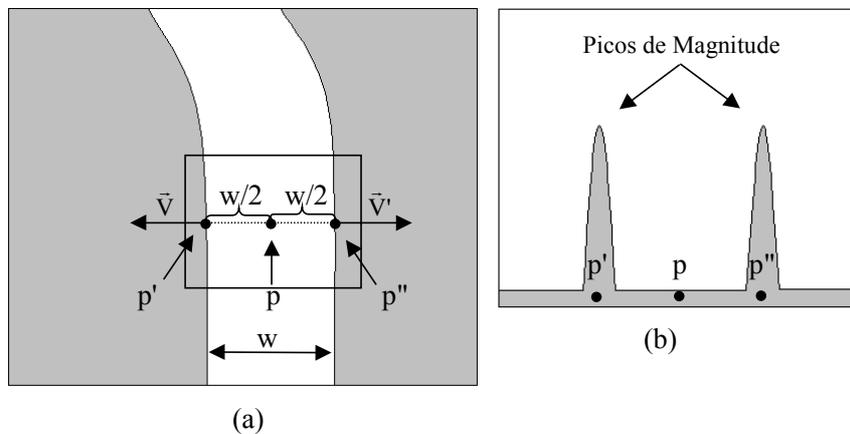
Quanto à magnitude dos pixels de borda, de modo geral, Canny (1986) e Vale e Dal Poz (2002) mostram que as bordas devem ser consideradas como um máximo local no resultado da filtragem diferencial. Dessa forma, pode-se caracterizar os pixels de borda de rodovia tanto do ponto de vista do sentido e da direção de seus vetores gradiente quanto do ponto de vista das respectivas magnitudes do gradiente.

É ainda oportuno discutir alguns aspectos relacionados com a equação 03. Dados dois vetores quaisquer \vec{u} e \vec{v} , com $\vec{u} \neq 0$ e $\vec{v} \neq 0$, e θ o ângulo entre \vec{u} e \vec{v} , tem-se que $\langle \vec{u}, \vec{v} \rangle = |\vec{u}| \cdot |\vec{v}| \cdot \cos \theta$. Levando isso em conta na equação 03, tem-se:

$$E = \sum_{i=1}^{n-1} \left[E_i(p_{i-1}, p_i, p_{i+1}) - \left| \vec{V}_{i-1} \right| \cdot \left| \vec{V}'_{i-1} \right| \cdot \cos \theta_{i-1} \cdot \left| \vec{V}_i \right| \cdot \left| \vec{V}'_i \right| \cdot \cos \theta_i \cdot \left| \vec{V}_{i+1} \right| \cdot \left| \vec{V}'_{i+1} \right| \cdot \cos \theta_{i+1} \right] \quad (04)$$

Considerando que o objetivo básico do processo de otimização por programação dinâmica é o de encontrar o máximo da função objetivo e que o primeiro termo do somatório da equação 03 é positivo, a contribuição do novo termo deve equivar à adição de uma grande quantidade positiva. Dessa forma, o sinal negativo entre os dois termos se justifica pelo fato de $\theta_{i-1} \cong \theta_i \cong \theta_{i+1} \cong 180^\circ$, implicando em $\cos \theta_{i-1} \cong \cos \theta_i \cong \cos \theta_{i+1} \cong -1$. Considerando também o fato de que a magnitude do gradiente em pontos de borda é máxima, os produtos escalar entre os vetores gradiente \vec{V}_{i-1} e \vec{V}'_{i-1} , \vec{V}_i e \vec{V}'_i , \vec{V}_{i+1} e \vec{V}'_{i+1} são máximos quando os vetores gradiente são tomados em pontos de borda de rodovia, conforme ilustra a figura 2. Quando isso ocorrer, a função objetivo receberá uma grande contribuição, fazendo com que os respectivos pontos do eixo (p_{i-1} , p_i e p_{i+1}) sejam posicionados acuradamente.

FIGURA 2 – ESQUEMA PARA DOIS PONTOS DE BORDAS ANTI-PARALELAS: (a) DIREÇÃO DOS VETORES GRADIENTE; E (b) MAGNITUDE DOS VETORES GRADIENTE



A figura 2(a) mostra o caso envolvendo a seção transversal de um ponto p qualquer do eixo da rodovia. Os pontos p' e p'' pertencem às bordas da rodovia e, também, à seção transversal definida em p . Sendo w a largura local da rodovia, então, o ponto p deve estar situado a uma distância $w/2$ dos pontos p' e p'' . Como nesses pontos \vec{V} e \vec{V}' serão aproximadamente anti-paralelos e as respectivas magnitudes serão extremas (fig. 2(b)), então $\langle \vec{V}, \vec{V}' \rangle$ também assumirá um valor extremo.

Embora a equação 03 expresse o princípio fundamental envolvido, ainda não se encontra numa forma adequada para ser otimizada pelo algoritmo de programação

dinâmica. Como as variáveis de interesse são as coordenadas dos pontos do eixo da rodovia, é necessário expressar as coordenadas dos pontos de borda em função dessas variáveis. Os vetores gradiente \vec{V}_{i-1} , \vec{V}'_{i-1} , \vec{V}_i , \vec{V}'_i , \vec{V}_{i+1} e \vec{V}'_{i+1} são definidos, respectivamente, nos pontos p'_{i-1} , p''_{i-1} , p'_i , p''_i , p'_{i+1} e p''_{i+1} cujas coordenadas são expressas em função das coordenadas dos pontos p_{i-1} , p_i e p_{i+1} , isto é:

$$p'_{i-1} : \begin{cases} x'_{i-1} = \frac{w_{i-1}}{2} \cdot \frac{y_i - y_{i-1}}{x_i - x_{i-1}} + x_{i-1} \\ y'_{i-1} = -\frac{w_{i-1}}{2} + y_{i-1} \end{cases} \quad \text{e} \quad p''_{i-1} : \begin{cases} x''_{i-1} = -\frac{w_{i-1}}{2} \cdot \frac{y_i - y_{i-1}}{x_i - x_{i-1}} + x_{i-1} \\ y''_{i-1} = \frac{w_{i-1}}{2} + y_{i-1} \end{cases} \quad (05)$$

$$p'_i : \begin{cases} x'_i = \frac{w_i}{2} \cdot \frac{y_i - y_{i-1}}{x_i - x_{i-1}} + x_i \\ y'_i = -\frac{w_i}{2} + y_i \end{cases} \quad \text{e} \quad p''_i : \begin{cases} x''_i = -\frac{w_i}{2} \cdot \frac{y_i - y_{i-1}}{x_i - x_{i-1}} + x_i \\ y''_i = \frac{w_i}{2} + y_i \end{cases} \quad (06)$$

$$p'_{i+1} : \begin{cases} x'_{i+1} = \frac{w_{i+1}}{2} \cdot \frac{y_{i+1} - y_i}{x_{i+1} - x_i} + x_{i+1} \\ y'_{i+1} = -\frac{w_{i+1}}{2} + y_{i+1} \end{cases} \quad \text{e} \quad p''_{i+1} : \begin{cases} x''_{i+1} = -\frac{w_{i+1}}{2} \cdot \frac{y_{i+1} - y_i}{x_{i+1} - x_i} + x_{i+1} \\ y''_{i+1} = \frac{w_{i+1}}{2} + y_{i+1} \end{cases} \quad (07)$$

onde, para $j = i-1, i, i+1$, (x_j, y_j) são as coordenadas dos pontos p_j e os w_j são as larguras locais da rodovia em relação aos pontos p_j

As equações 05, 06 e 07 definem então os pontos nos quais os vetores gradiente serão calculados, por exemplo, usando o algoritmo de Canny, dependendo apenas das coordenadas de pontos p_{i-1} , p_i e p_{i+1} do eixo da rodovia e das respectivas larguras locais (w_{i-1} , w_i e w_{i+1}) da rodovia. Dessa forma, sendo E_i^p a parte da função objetivo relativa à inunção de borda, tem-se:

$$\langle \vec{V}_{i-1}, \vec{V}'_{i-1} \rangle \cdot \langle \vec{V}_i, \vec{V}'_i \rangle \cdot \langle \vec{V}_{i+1}, \vec{V}'_{i+1} \rangle = E_i^p(p_{i-1}, p_i, p_{i+1}, w_{i-1}, w_i, w_{i+1}) \quad (08)$$

Considerando a inunção de borda (eq. 08) na equação 03, tem-se:

$$E = \sum_{i=1}^{n-1} \left[E_i(p_{i-1}, p_i, p_{i+1}) - E_i^p(p_{i-1}, p_i, p_{i+1}, w_{i-1}, w_i, w_{i+1}) \right] \quad (09)$$

ou, substituindo os dois termos da somatória por $E_i^t(p_{i-1}, p_i, p_{i+1}, w_{i-1}, w_i, w_{i+1})$, chega-se a:

$$E = \sum_{i=1}^{n-1} E_i^t(p_{i-1}, p_i, p_{i+1}, w_{i-1}, w_i, w_{i+1}) \quad (10)$$

que é a forma completa da função objetivo modificada. Vale ressaltar que, como no caso da função objetivo original (eq. 1), a equação 10 não relaciona simultaneamente todas as variáveis envolvidas. Conseqüentemente, tem-se novamente um problema de otimização global, passível de ser resolvido eficientemente pelo algoritmo de programação dinâmica. Uma importante simplificação pode ser realizada na equação 10, possibilitando uma significativa redução na complexidade computacional da solução algorítmica por programação dinâmica sem, contudo, afetar a qualidade dos resultados. Levando-se em conta que a largura de uma rodovia geralmente não varia muito, é válido supor que $w_{i-1} \cong w_i \cong w_{i+1}$. Essa suposição é bastante realística porque à medida que as iterações vão sendo realizadas, o eixo da rodovia vai também sendo refinado e adensado. Isto é, as seções definidas por três pontos sucessivos vão encurtando com o progresso do processo iterativo, tornando desnecessário o uso de larguras distintas de rodovias nas referidas seções locais de rodovia. Os resultados experimentais a serem mostrados na próxima seção confirmam esta expectativa teórica. Assim, a função objetivo usada no processo de otimização tem a forma:

$$E = \sum_{i=1}^{n-1} E_i^t(p_{i-1}, p_i, p_{i+1}, w_i) \quad (11)$$

Portanto, o número de incógnitas interrelacionadas simultaneamente na função objetivo modificada é sete, contra seis da versão original do método. Vale finalmente ressaltar que a diferença básica entre a solução preexistente e a modificada é a função objetivo utilizada. Isto é, basta substituir a equação 01 pela 09 e aplicar o mesmo processo de otimização por programação dinâmica.

4 RESULTADOS E ANÁLISE

A seguir serão apresentados os resultados obtidos tanto com a metodologia modificada de programação dinâmica quanto com a metodologia original de programação dinâmica (seção 2). Como o objetivo central do trabalho é a avaliação do potencial do método na extração do eixo da rodovia em imagens de média e alta resolução, são utilizadas nos experimentos uma imagem de cada nível de resolução.

A imagem real 1 (figura 3), de 500x600 pixels, possui alta resolução e rodovias com largura média em torno de 15 pixels. Seu contraste é favorável e verificam-se como principais pontos desfavoráveis as obstruções parciais ao leito da rodovia e locais onde há a ausência em uma das bordas da rodovia. A imagem real 2 (figura 4), de 535x498 pixels, é de altíssima resolução, possuindo rodovias com largura média de aproximadamente 33 pixels. Em vista da alta resolução, pode-se verificar a presença de postes mas, no entanto, as bordas das rodovias são geralmente bem definidas. A análise dos resultados é realizada visual e numericamente. A análise visual consiste em realizar as interpretações dos resultados pela observação da imagem de entrada com os eixos de rodovia projetados. Já a análise numérica baseia-se nos parâmetros de desvio médio e RMS (erro médio quadrático). Estes parâmetros são calculados a partir das distâncias (ou discrepâncias) entre pontos homólogos dos eixos de rodovia extraídos computacional e manualmente. O desvio médio é a média aritmética entre as discrepâncias e o RMS é dado pela raiz quadrada da média aritmética da soma das discrepâncias quadradas. Portanto, a análise a ser apresentada a seguir permitirá a verificação da performance da metodologia modificada frente a metodologia original.

Os resultados obtidos para a imagem real 1, para as duas metodologias, são apresentados nas figuras 3(a) e 3(b). Esta imagem possui características tais como: alta resolução, resultando em maior largura das rodovias; rodovias com baixo grau de curvatura; bifurcações; obstruções significativas ao leito da rodovia; perturbações às bordas causadas por estradas vicinais; um pequeno trecho de baixo contraste etc.. Os pequenos círculos pretos, na figura 3(a), mostram as posições dos pontos sementes necessários ao processo de extração. Pode-se ainda verificar nas figuras 3(a) e 3(b), a identificação dos eixos da malha viária, extraídos por ambas as metodologias.

Observando primeiramente o resultado obtido pelo uso da versão original de programação dinâmica (figura 3(a)), pode-se ver que a malha foi dividida em três segmentos distintos, i. e., os pontos sementes foram coletados de forma que o algoritmo construísse três segmentos. Assim, ao se observar a figura 3(b), deve-se ressaltar, apesar da aparência, que a malha resultante não é conexa, pois, ambas as versões do algoritmo se destinam apenas à extração de segmentos isolados. Analizando-se o resultado de extração apresentado na figura 3(a), nota-se que o eixo extraído não corresponde ao eixo verdadeiro e, nos trechos curvos da rodovia, este tangencia a borda da rodovia. Dada a característica de resolução da imagem e as informações de borda sendo consideradas, verifica-se que a nova versão do método atuou muito melhor na transposição de elementos desfavoráveis como grandes árvores projetando-se sobre as rodovias e entroncamentos. Tal fato se deve principalmente à permanência, no novo algoritmo, de elementos que controlam a curvatura e colinearidade por meio de limiares. Assim, os pontos otimizados na

região anterior e posterior da obstrução injuncionam, por meio destes limiares, a otimização dos pontos posicionados sobre as regiões críticas.

FIGURA 3 - RESULTADO OBTIDO COM A IMAGEM REAL 1 NA EXTRAÇÃO DO EIXO: (a) VERSÃO ORIGINAL DE PROGRAMAÇÃO DINÂMICA; (b) VERSÃO MODIFICADA DE PROGRAMAÇÃO DINÂMICA



Efetuada-se agora a comparação entre os respectivos parâmetros numéricos, apresentados na tabela 1, pode-se confirmar a melhor performance da versão modificada de programação dinâmica.

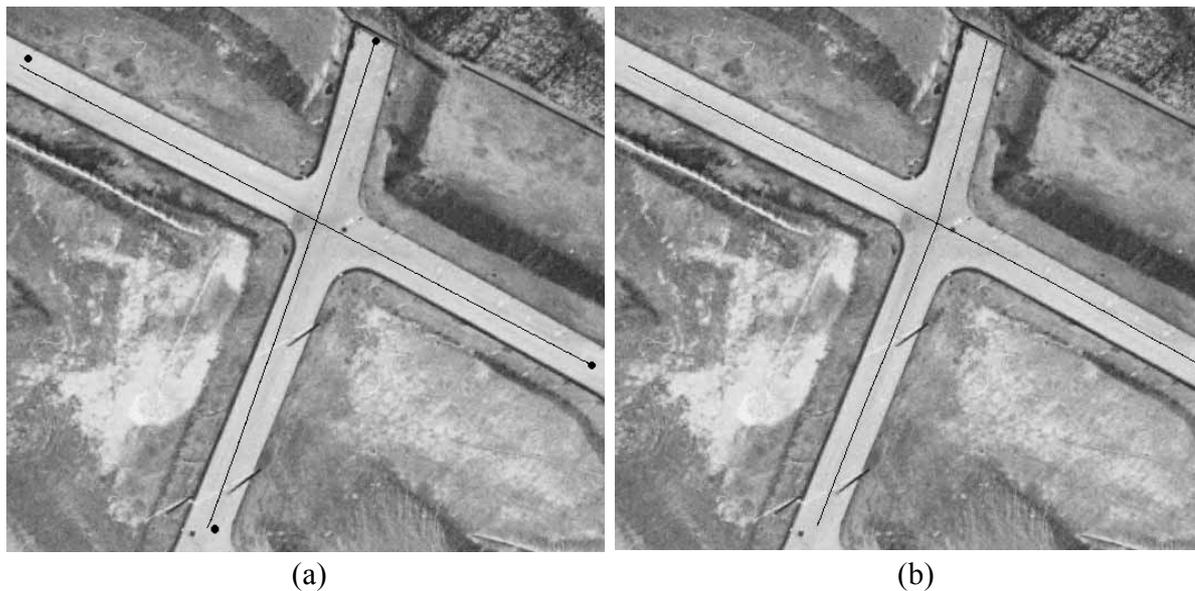
TABELA 1 - PARÂMETROS DE QUALIDADE PARA A EXTRAÇÃO EFETUADA POR PROGRAMAÇÃO DINÂMICA ORIGINAL E PELA VERSÃO MODIFICADA DE PROGRAMAÇÃO DINÂMICA

Rodovia	Método Original		Método Modificado	
	Desvio Médio (pixel)	RMS (pixel)	Desvio Médio (pixel)	RMS (pixel)
Segmento 1	2,9	3,8	0,8	1,1
Segmento 2	3,7	4,4	0,6	0,7
Segmento 3	3,6	4,0	0,7	0,8
Toda Malha	3,3	4,1	0,7	0,9

O desvio médio para o resultado obtido pelo uso da versão modificada de programação dinâmica foi de aproximadamente 1/4 do desvio médio obtido pelo método original, indicando uma proximidade bem maior do eixo extraído ao eixo de referência, extraído manualmente. De forma análoga, o RMS calculado para o resultado obtido pela metodologia modificada foi mais de quatro vezes melhor que o obtido para a metodologia original.

As figuras 4(a) e 4(b) mostram os resultados obtidos utilizando-se ambos os métodos. Os eixos de rodovia extraídos estão projetados em preto sobre a imagem original para possibilitar a análise visual.

FIGURA 4 - RESULTADO OBTIDO COM A IMAGEM REAL 2 NA EXTRAÇÃO DO EIXO: (a) VERSÃO ORIGINAL DE PROGRAMAÇÃO DINÂMICA; (b) VERSÃO MODIFICADA DE PROGRAMAÇÃO DINÂMICA



Os pontos sementes, fornecidos pelo operador, estão representados na figura 4(a) por meio de pequenos círculos pretos. Verifica-se nesta imagem a presença de postes que causam pequenas oclusões ao leito da rodovia, interferindo nas informações radiométricas necessárias a ambos os métodos. No entanto, a imagem apresenta bordas bem definidas, assim, a situação que se apresenta é condizente com o modelo de rodovia brevemente apresentado na seção 2. Devido à resolução da imagem, o cruzamento presente na cena poderia representar um obstáculo a ser transposto, principalmente pela nova versão do algoritmo de programação dinâmica, que utiliza informações de bordas. No entanto, supondo que o pixel de referência sendo avaliado esteja na região do cruzamento, ao ocorrer a tentativa de se avaliar pixels de borda relativos a este pixel, dada a aproximada homogeneidade da região analisada, haverá muitos vetores gradiente insignificantes e, por consequência, produtos escalar próximos de zero. A ocorrência de tal situação anularia a definição matemática do eixo da rodovia e o algoritmo procederá como na versão original. Assim, por ser esta uma metodologia de otimização global e haverem formas de se injuncionar a trajetória por meio dos limiares de curvatura e colinearidade, a expectativa teórica é que o algoritmo "não se perca", por considerar informações da região anterior e posterior do cruzamento. Mesmo frente às possíveis dificuldades apontadas, constata-se pelos resultados experimentais que ambos os métodos

efetua a extração mas, no entanto, o resultado que mais corresponde ao eixo verdadeiro é claramente obtido usando a metodologia modificada.

Vale ainda comentar que, por não possuir a formulação explícita para o eixo da rodovia, o algoritmo de programação dinâmica original, diante de uma rodovia com grande largura, é extremamente vulnerável à escolha dos pontos semente. Ou seja, como a área é vasta e aproximadamente homogênea, a função objetivo original pode encontrar várias trajetórias sobre o leito da rodovia onde ela será maximizada, dependendo da localização dos pontos semente escolhidos para a inicialização do processo. Tal fato não ocorre com a nova metodologia, pois independentemente dos pontos sementes fornecidos pelo operador, a linha poligonal gerada será praticamente a mesma.

TABELA 2 - PARÂMETROS DE QUALIDADE PARA A EXTRAÇÃO EFETUADA RESPECTIVAMENTE POR PROGRAMAÇÃO DINÂMICA ORIGINAL E PELA VERSÃO MODIFICADA DE PROGRAMAÇÃO DINÂMICA

Rodovia	Método Original		Método Modificado	
	Desvio Médio (pixel)	RMS (pixel)	Desvio Médio (pixel)	RMS (pixel)
Segmento 1	3,1	3,4	0,9	1,1
Segmento 2	5,5	6,5	0,6	0,7
Toda Malha	4,6	5,5	0,7	0,9

O método tem sua superioridade comprovada numericamente através da análise dos parâmetros de qualidade apresentados na tabela 2. Através dos valores de erro médio calculados para os resultados obtidos por ambos os métodos, verifica-se que o eixo extraído pela metodologia modificada está bem mais próximo do eixo de referência extraído manualmente. A acurácia, indicada pelos valores de RMS, é também bem melhor para o resultado obtido pelo uso da nova metodologia.

Assim como no experimento anterior, verificou-se, de forma visual e numérica, a ocorrência de uma excelente performance do algoritmo de programação dinâmica modificada, bem como, constatou-se sua superioridade frente a metodologia original.

5 CONCLUSÕES

Este artigo apresentou os resultados obtidos em pesquisa sobre a extração semi-automática de rodovias em imagens digitais de média e alta resolução. A metodologia apresentada baseou-se na modificação de uma metodologia preexistente para a extração de rodovias por programação dinâmica. Tal modificação foi realizada no modelo de rodovia pela inserção da definição do eixo de rodovia na função objetivo original. O assunto pesquisado pertence a um tema mais geral, de grande interesse da comunidade científica afim, envolvendo a extração de feições

cartográficas para a alimentação ou a atualização de bases de dados de SIG. De modo geral, a extração de feições é um tema pouco pesquisado no país, em particular se o alvo da extração for rodovias.

Apesar da boa performance e a reduzida probabilidade de falhas de extração verificada para ambos os métodos, pode-se concluir que a adição da definição do eixo da rodovia utilizando-se, para tanto, as informações pertinentes às bordas, presentes na nova metodologia, mostrou-se bastante satisfatória, sendo que o algoritmo foi capaz de superar claramente a performance do método original, em imagens de média e alta resolução.

Conclui-se por fim que as alterações realizadas no modelo preexistente, bem como as modificações algorítmicas efetuadas, proporcionaram resultados de melhor qualidade, como pôde ser constatado por meio dos experimentos e análises apresentadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BALLARD, D. H.; BROWN, C. M. **Computer Vision**. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall, 1982.

BAUMGARTNER, A., STEGER, C., MAYER, ECKSTEIN, W. BNER, H. Automatic road extraction based on multi-scale, grouping, and context. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 65, n. 7, p. 777-785, jul. 1999.

CANNY, J. A Computational Approach to Edge Detection. **IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence**, Washington, DC, USA, v. 8, n. 6, p. 679-698, 1986.

DAL POZ, A. P. **Processo automático para reconhecer rodovias georreferenciadas de uma fotografia aérea digitalizada**. 2000. 225 p. Relatório FAPESP de Pós-Doutorado, Universidade do Maine, Maine - EUA.

DAL POZ, A. P. Semi-automatic road extraction methods by dynamic programming optimization and a cooperative road follower. **The Photogrammetric Journal of Finland**, Finlândia, v. 17, n. 2, p. 13-22, 2001.

DAL POZ, A. P. Semi-automatic road extraction based on edge and correlation analyses. In: ASPRS 2001 ANNUAL CONFERENCE, 2001, Saint Louis, MO. **ASPRS 2001 Annual Conference**. Washington, DC: ASPRS, 2001a.

DAL POZ, A. P.; SILVA, M. A. O. Active testing and edge analysis for road centerline extraction. In: PHOTOGRAMMETRIC COMPUTER VISION ISPRS COMMISSION III, SYMPOSIUM 2002, Austria. **International Archives of the Photogrammetry**, Graz, Austria, 2002. p. 44-47.

DAL POZ, A. P., SILVA, M. A. O. Delineamento de rodovia usando os princípios de teste ativo e de bordas anti-paralelas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOMÁTICA, 2002, Presidente Prudente. **Anais do Simpósio Brasileiro de Geomática - anais em CDROM**. Presidente Prudente, SP: Faculdade de Ciências e Tecnologia da UNESP, 2002a, p. 194-205.

- DOUCETTE, P., AGOURIS, P., STEFANIDIS, MUSAVI, M. Self-organized clustering for road extraction in classified imagery. **ISPRS Journal Photogrammetry and Remote Sensing**, Elsevier, v. 55, n. 5-6, p. 347-358, 2001.
- GEMAN, D., JEDYNAK, B. An active testing model for tracking roads in satellite images. **IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence**, v.18, n.1, p.1-14, jan.1996.
- GRUEN, A.; LI, H. Semi-automatic linear feature extraction by dynamic programming and LSB-snakes. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 63, n. 8, p. 985-995, 1997.
- KASS, M., WITKIN, A. TERZOPOULOS, D. Snakes: Active contour models. In: 1ST. INT. CONF. COMPUTER VISION, 1987, London, **Proceedings of the First International Conference on Computer Vision**, London, England, 1987. p. 259-268.
- LAPTEV, I., MAYER, H., LINDEBERG, T., ECKSTEIN, W., STEGER, C., BAUMGARTNER, A. Automatic extraction of roads from aerial images based on scale space and snakes. **Machine Vision and Applications**, v. 12, n. 1, p. 22-31, 2000.
- McKEOWN, D. M., DENLINGER, J. L. Cooperative methods for road tracking in aerial imagery. In: **Proceedings of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition**, Ann Arbor, Michigan, pp. 662-672, jun. 1988.
- MENDES, T. S. G.; DAL POZ, A. P. Extração semi-automática de rodovias combinando um modelo de trajetória com uma estratégia de correlação. In: IV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOINFORMATICA, 2002, Caxambu. **GEOINFO 2002**. Belo Horizonte, MG: Sociedade Brasileira de Computação, 2002. p. 83-90.
- MERLET, N. ZERUBIA, J. New prospects in line detection by dynamic programming. **IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence**, v. 18, n. 4, p. 426-431, 1996.
- NEVATIA, R.; BABU, K. R. Linear feature extraction and description. **Computer Graphics and Image Processing**, v. 13, p. 257-269, 1980.
- VALE, G. M.. **Extração semi-automática do eixo de rodovia em imagens de média e alta resolução usando programação dinâmica**. 2003. 115 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas) - FCT/Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2003.
- VALE, G. M.; DAL POZ, A. P. Processo de detecção de bordas de Canny. **Boletim de Ciências Geodésicas**, Curitiba, v. 8, n. 2, p. 67-78, nov. 2002.
- VOSSSELMAN, G.; de KNECHT, J. Road tracing by profile matching and Kalman filtering. Automatic Extraction of Man-Made Objects from Aerial and Space Images. Gruen, A., O. Kuebler, and P. Agouris (eds.), **Birkhaeuser**, Basel - Boston - Berlin, p. 265-274. 1995.
- WANG, Y., TRINDER, J. Automatic road network extraction by hierarchical grouping. **Proc. ASPRS 2000 Annual Conference**, Washington, DC, 2000.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES, pelo suporte, sob a forma de bolsa de Demanda Social CAPES, concedida ao mestrando Giovane Maia do Vale a partir de 1 de maio de 2001. Este trabalho é também resultado de um projeto financiado pela FAPESP, na categoria de Auxílio à Pesquisa (Processo no. 2001/01168-5), coordenado pelo segundo autor.

RECONHECIMENTO E DELINEAMENTO AUTOMÁTICO DE SEGMENTOS DE RODOVIA ATRAVÉS DE AGRUPAMENTO DE OBJETOS SEMÂNTICOS

Aluir P. Dal Poz¹

1 Universidade Estadual Paulista - UNESP - aluir@prudente.unesp.br

RESUMO

Este artigo apresenta um método automático para a extração de segmentos de rodovias em imagens de média e de alta resolução de cenas rurais. O método baseia-se num conjunto de quatro objetos semânticos de rodovia e num outro conjunto de regras de conexão entre objetos semânticos. Cada objeto semântico é uma representação local de um fragmento de rodovia aproximadamente reto e sua construção é baseada na combinação, segundo regras que incorporam conhecimentos sobre rodovia, de linhas poligonais descrevendo todas as bordas relevantes da imagem. Cada segmento de rodovia é composto por uma seqüência de objetos semânticos de rodovia conectados, sendo que geometricamente cada seqüência desse tipo pode ser estruturada como uma cadeia de quadriláteros justapostos. Os experimentos realizados com imagens de média e de alta resolução mostraram que a metodologia desenvolvida é promissora e tem potencial para se tornar uma tecnologia de captura de dados espaciais. Este artigo apresenta os fundamentos do método, bem como os resultados experimentais obtidos.

Palavras-chave: Segmentos de Rodovia; Objetos Semânticos; Agrupamento

ABSTRACT

This article presents an automatic method for road segment extraction from medium- and high-resolution images of rural scenes. The method is based on a set of four semantic objects of road and another set of connection rules among semantic objects. Each semantic object is a local representation of an approximately straight road fragment and its construction is based on combination of polygons describing all relevant image edges, according to some rules embodying road knowledge. Each road segment is composed by a sequence of connected road semantic objects, being each sequence of this type can be geometrically structured as a chain of contiguous quadrilaterals. Experiments carried out with medium- and high- resolution images

showed that the proposed methodology is very promising and has the potential for becoming a technology of spatial data capturing. This article presents the fundamentals of the method, and the experimental results as well.

Keywords : Road Segments; Semantic Objects; Grouping

1. INTRODUÇÃO

A coleta e a atualização de dados espaciais são aspectos fundamentais no desenvolvimento e na manutenção de um SIG (Sistema de Informações Geográficas). Os dados espaciais em boa parte dos SIG's existentes têm origem em mapas analógicos preexistentes. Neste caso, a desvantagem é que a digitalização inerente adiciona erros aos dados coletados, tornando-os menos acurados que os dados originais dos mapas. Um outro método muito importante para a coleta e atualização de dados espaciais é o fotogramétrico, que ainda depende substancialmente da habilidade natural do operador humano. A grande vantagem desse método é a possibilidade de se coletar dados espaciais com grande acurácia e confiabilidade. Embora as estratégias envolvidas sejam então muito eficientes, geralmente demandam muito tempo e pessoal qualificado, acarretando em elevados custos. Estes fatores certamente impõem restrições na escolha da densidade e da resolução das informações espaciais a serem coletadas e, também, na definição do ciclo de revisão dessas informações. Deve-se ainda considerar nesse contexto a crescente disponibilidade de imagens de alta resolução, implicando num enorme volume de dados de imagem a serem submetidos aos processos de extração de dados espaciais. Portanto, o desenvolvimento de métodos para coletar eficientemente dados espaciais a partir de imagens aéreas e de satélite deve ser um dos principais focos de pesquisa em Fotogrametria. De fato, a ISPRS (*International Society for Photogrammetry and Remote Sensing*) vem se preocupando, através da Comissão III (*Theory and Algorithms*) e respectivos Grupos de Trabalhos (por exemplo, o WG/4 – *Automated object extratction*), com o tema há, pelo menos, uma década. Portanto, automação é a palavra chave neste contexto.

A automação em Fotogrametria tem evoluído significativamente em alguns processos fotogramétricos, justamente naqueles que se caracterizam pelo caráter mais geométrico. Por exemplo, pode-se citar o caso da medida automática de marcas fiduciais e da determinação automática da correspondência entre pontos homólogos (Baumgartner et al., 1999). Este último avanço trouxe ganhos práticos consideráveis aos processos de orientação relativa, de geração de MDT (Modelos Digitais do Terreno) e de aerotriangulação. Outro processo fotogramétrico de cunho geométrico bem resolvido é a geração automática de ortofoto. Já os processos de cunho semântico são muito mais difíceis de serem automatizados, pois necessitam da determinação do significado dos objetos cartográficos, além dos respectivos

delineamentos geométricos. Dá-se a esse processo a denominação genérica de *extração de feições*, envolvendo duas tarefas básicas, i.e., a de reconhecimento e a de delineamento. Geralmente a tarefa de reconhecimento é muito mais difícil de ser realizada, justamente porque depende de conhecimentos semânticos para atribuir o significado ao objeto. Após o reconhecimento, cada objeto pode ser delineado geometricamente usando basicamente informações de cunho geométrico e radiométrico. Os métodos automáticos para a extração de feições desempenham ambas as tarefas de reconhecimento e de delineamento mas, em se tratando de métodos semi-automáticos, é apenas inerente a tarefa de delineamento, uma vez que o reconhecimento fica a cargo da habilidade interpretativa do operador humano. Especialmente a extração de rodovias tem recebido considerável atenção de pesquisadores da área de Fotogrametria e, também, de outras áreas, como a de Visão Computacional. De fato, o problema de extração de rodovia vem sendo alvo de inúmeras pesquisas desde os trabalhos pioneiros de Bajcsy e Tavakoli (1976) e de Quam (1978).

Este artigo tem por motivação principal o desenvolvimento de metodologias para coletar eficientemente informações espaciais para SIG. Mais especificamente, este trabalho focaliza o problema específico de extração automática da malha viária em imagens de média e alta resolução de cenas rurais. A metodologia desenvolvida ainda não se presta a reconstrução completa da malha viária mas, entretanto, já se tem um nível de automação esperado de aproximadamente 90%. É em vista disto que esse trabalho se refere à extração de segmentos de rodovia, e não à extração da malha viária. Esse artigo apresenta primeiramente uma visão geral sobre o problema de extração de rodovia em imagens digitais (Seção 2). A metodologia desenvolvida para a extração automática de segmentos de rodovia é apresentada na Seção 3. Os resultados experimentais, bem como as análises inerentes, são apresentados na Seção 4. A Seção 5 finaliza o trabalho com as principais conclusões e perspectivas futuras.

2. O PROBLEMA DE EXTRAÇÃO DE RODOVIA

Os modelos e estratégias para a extração de rodovia dependem fundamentalmente dos seguintes fatores: tipo de cena, resolução da imagem e uso de dados externos.

Os principais tipos de cena são a rural e a urbana, sendo que a diferença fundamental no tratamento de imagens destas cenas é a relevância ou não das informações contextuais, i.e., relações entre as rodovias e outros objetos (edifícios, árvores, carros etc.). Enquanto que em imagens de cenas rurais o objeto rodovia pode até ser estudado individualmente, em imagens de cenas urbanas é praticamente impossível desconsiderar as informações contextuais. Por exemplo, Hinz e Baumgartner (2002) e Hinz et al. (2001) utilizaram informações contextuais para localizar partes da imagem onde é mais fácil extrair segmentos de ruas em cenas urbanas complexas. Outro exemplo é encontrado em Price (2000), onde o

conhecimento contextual de que objetos altos (tais como edifícios e árvores) margeiam as ruas é utilizado para definir os limites das ruas. Como mostra Baumgartner et al. (1999), o conhecimento contextual também pode ser útil para a extração de rodovias em imagens obtidas de cenas rurais. As informações contextuais foram utilizadas para verificar hipóteses de conexão entre segmentos de rodovias previamente extraídos. Enquanto que nesse caso o conhecimento contextual é uma opção para complementar a malha viária, em imagens de cenas urbanas o contexto possui importância fundamental.

As estratégias de extração de rodovia dependem bastante da resolução da imagem que, em vista das características do problema de análise de imagem em foco, são classificadas em alta resolução (pixels menores que 0,7 m ou rodovias com largura superior a 7 pixels), em média resolução (pixels no intervalo [0,7 m; 2,0 m] ou rodovias com larguras entre 4 pixels e 6 pixels) e em baixa resolução (pixels maiores que 2,0 m ou rodovias com larguras entre 1 pixel e 3 pixels) (Baumgartner et al., 1999). Em se tratando de imagens de baixa resolução, como, por exemplo, imagens HRV/SPOT, as rodovias se manifestam como estruturas curvilíneas. Assim, tem-se fundamentalmente um problema de detectar e seguir linhas através de algoritmos especiais (Gruen e Li, 1997, Wiedemann e Hinz, 1999). Por outro lado, a maioria das rodovias em imagens de média e de alta resolução se manifesta como faixas estreitas, homogêneas e alongadas e, dessa forma, os algoritmos podem-se basear fundamentalmente em análise de bordas e/ou de áreas (Dal Poz e Silva, 2002, Baumgartner et al., 1999).

Existem duas fontes de dados externos para inicializar e/ou controlar o processo de extração. Uma primeira são os mapas preexistentes, que são úteis para, por exemplo, fornecer informações a priori sobre os objetos presentes na cena (Bordes et al., 1996) ou são necessários para suportar tarefas de detecção de alterações na malha viária (Dal Poz e Agouris, 2000, Fiset et al., 1998). A segunda fonte de dados externos, e que norteia a classificação mais usual dos métodos de extração de rodovia, é a provida pelo operador, normalmente através do fornecimento de pontos sementes. Os métodos que dependem desses dados para inicialização são ditos semi-automáticos. Vale ressaltar que nesse caso a tarefa de reconhecimento da rodovia fica a cargo do operador e o delineamento, que normalmente é demorado e cansativo, a cargo do algoritmo computacional. O algoritmo de delineamento pode ser seqüencial, caso em que o operador necessita fornecer a posição e a direção em um ponto inicial (Vosselman e de Knecht, 1995, Geman e Jedynak, 1996), ou global, quando o operador necessita fornecer pontos sementes distribuídos esparsa e grosseiramente ao longo da rodovia (Gruen e Li, 1997, Dal Poz, 2001, Agouris et al., 2000, Doucette et al., 2001). Os métodos automáticos tentam evitar totalmente a intervenção humana durante o processo de extração, necessitando, portanto, desempenhar ambas as tarefas de extração, i.e., o reconhecimento e o delineamento. Basicamente, estes métodos requerem a integração de informação contextual e de

conhecimento *a priori* do objeto rodovia. Um exemplo sofisticado é encontrado em Baumgartner et al. (1999), em que contexto, técnicas de agrupamento perceptivo e diferentes resoluções são usados para extrair a malha viária em imagens de alta resolução.

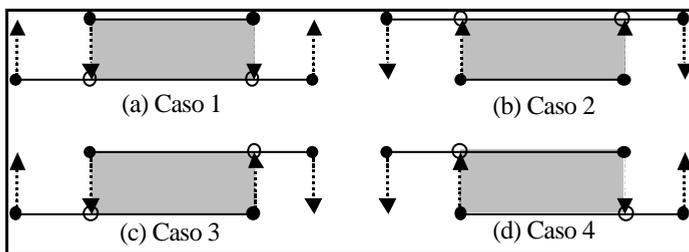
3. RECONHECIMENTO E O DELINEAMENTO AUTOMÁTICO DE SEGMENTOS DE RODOVIA ATRAVÉS DE AGRUPAMENTO DE OBJETOS SEMÂNTICOS

A metodologia desenvolvida para o reconhecimento e o delineamento automático de segmentos de rodovia baseia-se num conjunto de quatro objetos semânticos de rodovia e num outro conjunto de regras de conexão entre objetos semânticos. As duas subseções seguintes descrevem, respectivamente, a construção dos objetos semânticos e a conexão entre eles.

3.1 EXTRAÇÃO DE OBJETOS SEMÂNTICOS

Os objetos semânticos são definidos a partir de segmentos de reta opostos, aproximadamente paralelos, de duas linhas poligonais compatíveis com bordas de rodovia. O processo de extração de linhas poligonais baseia-se em várias etapas sequenciais, i.e.: a detecção e o afinamento de bordas, a geração de listas ordenadas de pixels de borda e a geração propriamente dita de linhas poligonais. Devido à limitação de espaço neste artigo e, também, ao fato destas etapas serem básicas em processos de extração de feições, remete-se os assuntos inerentes à literatura específica, como, por exemplo, Jain et al. (1995).

FIGURA 01 - OBJETOS SEMÂNTICOS



A figura 1 mostra os quatro objetos semânticos encontrados em qualquer segmento de rodovia. Na construção de um objeto semântico, o segmento de reta inferior é denominado *base* e o superior *candidato*. Para cada um dos quatro casos, os pontos extremos de ambos os segmentos de reta (pequenos círculos pretos na figura 1) são projetados ortogonalmente de um para outro, sendo que dois pontos projetados são localizados (pequenas circunferências na figura 1) entre os pontos

extremos do segmento oposto. Por exemplo, na figura 1(a) os pontos extremos do segmento de reta candidato são projetados ortogonalmente em dois pontos do segmento de reta base. O inverso ocorre com o caso 1 (figura 1(b)). Já em relação aos casos 3 e 4, respectivamente ilustrados nas figuras 1(c) e 1(d), os pontos projetados são locados de forma alternada, i.e. um no segmento base e o outro no candidato e vice-versa. Em todos os casos, dois pontos extremos dos segmentos base e/ou candidato e dois pontos projetados nos segmentos base e/ou candidato, são combinados para formar quadriláteros bastante próximos da forma de um retângulo. Os quadriláteros definidos nos quatro objetos semânticos são visualizados na figura 1 como áreas hachuradas. O eixo de cada quadrilátero, definido pelos dois pontos médios dos pares de vértices do quadrilátero que definem os lados transversais à rodovia, coincide com um pequeno segmento de eixo de rodovia.

A construção das quatro objetos semânticos baseia-se num conjunto de regras relacionadas com conhecimentos *a priori* sobre rodovia. As principais regras utilizadas para identificar e construir os quatro objetos semânticos brevemente descritos acima são:

1. **Regra de anti-parallelismo do gradiente:** segundo o conceito de anti-parallelismo, os vetores do gradiente de dois pontos tomados sobre margens opostas de uma rodovia e situados numa mesma seção transversal de rodovia, são aproximadamente paralelos e de sentidos aproximadamente opostos. Além disso, são aproximadamente ortogonais às bordas de rodovia. Isto significa que os vetores de gradiente nos pixels de borda que geraram um determinado segmento de reta, pertencente a uma linha poligonal, são aproximadamente ortogonais ao segmento de reta sendo considerado. Consequentemente, um excelente representante dos vetores de gradiente nos pontos geradores de um segmento de reta, é o vetor do gradiente médio. Os vetores do gradiente médios para os segmentos de reta base e candidato (figura 1) são então aproximadamente anti-parallelos. Além deste resultado encerrar uma importante informação do objeto rodovia, também é bastante apropriado para a etapas posteriores de análise de imagem, pois é uma representação bastante compacta. Pela regra de anti-parallelismo, dois segmentos de reta, base e candidato, são compatíveis com um fragmento de rodovia se a regra de anti-parallelismo for satisfeita;
2. **Regra de parallelismo e proximidade dos lados:** por esta regra, os segmentos de reta base e candidato são possíveis constituintes de um objeto semântico se forem aproximadamente paralelos e próximos o suficiente;
3. **Regra de homogeneidade:** os tons de cinza de pixels pertencentes ao leito de uma rodovia não variam muito, pelo menos em segmentos menores. Assim, a área delimitada pelos segmentos de reta base e candidato deve ser aproximadamente homogênea. Além disso, a média dos tons de cinza,

necessária para o cálculo da dispersão dos tons de cinza na área delimitada, geralmente possui alto valor de brilho;

4. **Regra do contraste:** uma rodovia geralmente possui alto contraste em relação às áreas adjacentes. Assim, os segmentos de reta base e candidato são admissíveis se for verificado um alto contraste da área delimitada (i.e., o quadrilátero) e as adjacências.
5. **Regra de superposição:** os segmentos de reta base e candidato são admissíveis somente se dois de seus pontos extremos podem ser projetados ortogonalmente no segmento de reta oposto. É esse critério que dá origem aos quatro casos mostrados na figura 1. Por exemplo, no caso 1 os dois pontos extremos do segmento de reta candidato são projetados ortogonalmente no segmento de reta base, dando origem ao quadrilátero do objeto semântico do caso 1;
6. **Regra da fragmentação:** linhas poligonais compostas de pequenos segmentos de reta (por exemplo, menores que a largura esperada da rodovia) ocorrem geralmente quando o objeto representado não é rodovia. Assim, os casos envolvendo pequenos segmentos não são considerados e os possíveis problemas decorrentes (por exemplo, o não reconhecimento de cruzamentos de rodovia) são tratados a posteriori, quando outros tipos de conhecimento são integrados.

A ordem de aplicação das seis regras descritas acima é importante porque pode evitar, na boa parte dos casos, a verificação de todas as regras de construção dos objetos semânticos. A primeira regra a ser aplicada é a sexta, pois permite a eliminação de uma boa parte dos casos em que não há interesse de análise. Na sequência, a aplicação da regra de superposição permite a eliminação de um outro conjunto de casos. A seguir, podem ser aplicadas, pela ordem, a 2^a, a 1^a, a 3^a e a 4^a regra.

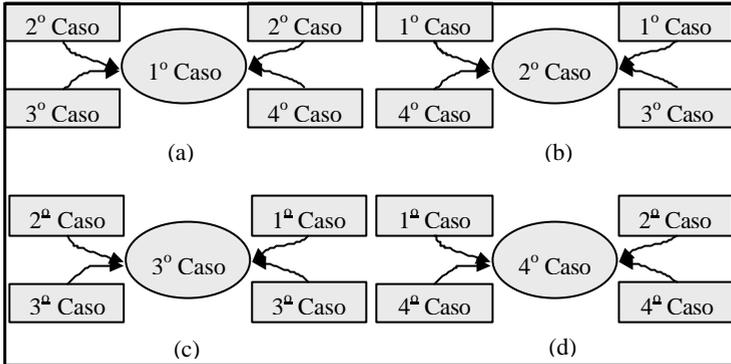
3.2 EXTRAÇÃO DE RODOVIA ATRAVÉS DA CONEXÃO DE OBJETOS SEMÂNTICOS

Os objetos semânticos discutidos na seção anterior são construídos a partir de dois segmentos de reta, denominados base e candidato, pertencentes a duas linhas poligonais diferentes.

Cada objeto semântico pode ser considerado como uma representação local para a maior parte reta de um segmento de rodovia. O problema que se tem em mãos é, dada uma grande quantidade de linhas poligonais previamente extraídas de uma imagem, entre as quais não se conhece nenhuma inter-relação, como formar e agrupar os objetos semânticos para formarem os segmentos de rodovia. A figura 2 mostra quais são as possíveis conexões a direita e a esquerda dos objetos semânticos. Todas estas possíveis conexões são entendidas a partir da análise dos objetos semânticos mostrados na figura 1. A figura 2(a) mostra que se um objeto semântico do 1^o caso for extraído, espera-se extrair os objetos semânticos dos 2^o e 3^o

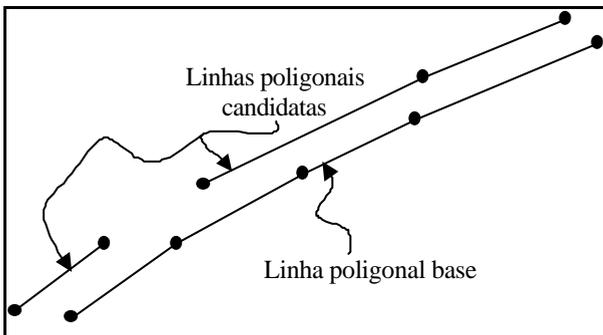
casos a esquerda. O 2º caso pode ser encontrado novamente a direita, juntamente com o 4º caso. O 2º caso se conecta a esquerda como os 1º e 4º casos e a direita com o 1º e 3º casos. Nota-se que os 3º e 4º casos se auto conectam tanto a direita quanto a esquerda.

FIGURA 02 - CONEXÕES ENTRE OS OBJETOS SEMÂNTICOS



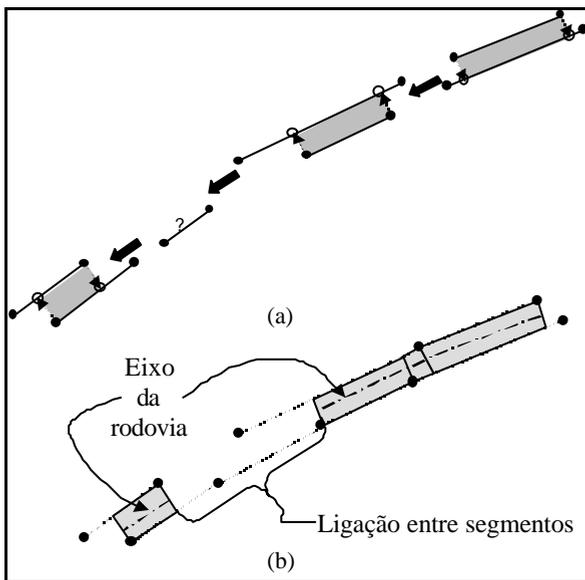
A extração automática de segmentos de rodovia, através da conexão de objetos semânticos, baseia-se então na combinação entre pares de linhas poligonais previamente extraídas. A combinação aos pares de todas as linhas poligonais exige um esforço computacional muito grande, mesmo com a aplicação ordenada das regras de construção dos objetos semânticos. Uma redução substancial de linhas poligonal é obtida através da eliminação daquelas que não delimitam regiões com contraste compatível com rodovia e fundos.

FIGURA 03 - EXEMPLOS DE COMBINAÇÕES POSSÍVEIS ENTRE LINHAS POLIGONAL BASE E CANDIDATA



Após a eliminação das linhas poligonais com baixa probabilidade de estarem relacionadas com rodovia, pode-se proceder com a extração dos segmentos de rodovia. Neste processo, uma linha poligonal é tomada como referência ou base e uma busca é realizada para verificar se existem linhas poligonais compatíveis com a de referência. O par sendo combinado é composto pelas linhas poligonais base e candidata (figura 3). Como também mostra esta figura, a linha poligonal base pode ser compatível com mais de uma candidata. Isso significa que a linha poligonal base deve ser combinada com todas as possíveis candidatas. Como em áreas rurais as rodovias geralmente existem de forma isolada e são bem definidas, isto é, são geralmente uma faixa estreita com, pelo menos, bom contraste em relação às regiões adjacentes, é muito pouco provável que uma linha poligonal se combine com duas ou mais linhas poligonais próximas e aproximadamente paralelas. Consequentemente, as linhas poligonais base já combinadas e também as partes das linhas poligonais candidatas combinadas podem ser retiradas das comparações seguintes. Portanto, as possibilidades de combinação vão diminuindo à medida que o processo de extração evolui. Vale voltar a ressaltar que a forma que os objetos semânticos são construídos, i.e. a partir da aplicação de uma seqüência ordenada de regras, evita que operações desnecessárias sejam realizadas.

FIGURA 04 - EXTRAÇÃO DE SEGMENTOS DE RODOVIA PARA O EXEMPLO DA FIGURA 3.
(a) EXTRAÇÃO DE OBJETOS SEMÂNTICOS; (b) CONEXÃO DOS OBJETOS SEMÂNTICOS



A figura 4 exemplifica o processo de extração e de agrupamento de objetos semânticos com base no exemplo mostrado na figura 3. Supondo que a linha poligonal base (figura 3) é combinada da direita para a esquerda, dois objetos semânticos são gerados pela combinação com a primeira linha poligonal candidata (figura 4(a)). A conexão destes dois objetos semânticos gera um primeiro segmento de rodovia (figura 4(b)) que, por sua vez, pode ser segmentado em três quadriláteros justapostos. Os vértices dos quadriláteros permitem a definição do eixo da rodovia. A combinação da linha poligonal base com a 2ª candidata (figura 3) permite gerar um segundo segmento de rodovia, constituído apenas de um quadrilátero (figura 4(b)). O pequeno segmento da linha poligonal base, não integrado aos dois segmentos de rodovia extraídos, é uma informação útil para a fase seguinte do processo de extração, pois é uma evidência de que ambos os segmentos extraídos são, de alguma forma, relacionados. Por exemplo, pode indicar a presença de um cruzamento de rodovia na forma de "T" ou "Y". Portanto, a informação referente ao segmento base não integrado deve ser preservada para uso nas etapas seguintes do processo de extração. Vale ressaltar que estas etapas serão alvo de trabalhos futuros.

4. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Com o objetivo de avaliar o potencial do método no reconhecimento e extração de segmentos de rodovia, três experimentos com dados reais foram conduzidos. Como o método é apropriado para a extração de rodovias em imagens de média e alta resolução de áreas rurais, foram selecionadas uma imagem de média resolução e duas de alta resolução.

A imagem utilizada no primeiro experimento foi obtida junto a *home page* do Sistema BADGER (<http://badger.parl.com/>), que é composta por um *software* para a distribuição via Internet de mapas e imagens da Baía de São Francisco, Califórnia, EUA. A figura 5 mostra esta imagem (500 x 500 pixels), onde também já podem ser observados os resultados obtidos, na forma de linhas claras projetadas sobre a imagem. Trata-se de uma imagem de média resolução, apresentando duas rodovias principais com larguras aproximadas de 6 pixels.

A figura 5 mostra os resultados obtidos com o processo de reconhecimento e extração de segmentos de rodovia. O padrão de rodovia preestabelecido, através dos objetos semânticos, é compatível com as duas rodovias principais presentes na imagem. O resultado obtido com esta imagem pode ser considerado bastante próximo do esperado. A única exceção é a região destacada na imagem com uma seta, que deveria ser extraída. Isto deve ter ocorrido devido ao baixo contraste da rodovia na região em relação as adjacências. Consequentemente, verifica-se um deslocamento maior da borda esquerda na região em destaque. Isto mostra que novas formas de controle necessitam ser desenvolvidas para tornar o método mais robusto. As demais falhas são esperadas devido a ausência de bordas em, por exemplo, cruzamentos de rodovia. Estas falhas são reparadas através de técnicas específicas

para conexão de segmentos e para a reconstrução de cruzamentos de rodovia. Alguns falsos positivos podem também ser eliminados na próxima etapa. Quanto ao tempo de processamento, tendo por referência um Notebook Celeron 400 MHz e 64 MB RAM, aproximadamente 1 minuto foi necessário para gerar os resultados mostrados na figura 5.

FIGURA 05 - RESULTADO OBTIDO COM O PROCESSO DE EXTRAÇÃO DE SEGMENTOS DE RODOVIA



A imagem (498 x 535 pixels, figura 6) utilizada no segundo experimento é de alta resolução, apresentando rodovias com largura média de 40 pixels.

A figura 6 mostra os resultados obtidos com o processo de reconhecimento e extração de segmentos de rodovia, sendo plenamente compatíveis com o esperado teoricamente. De fato, a estratégia envolvida não prevê formas de modelagem de situações envolvendo cruzamentos de rodovia e bordas muito perturbadas, que nesse caso é devido à presença de postes nas margens das rodovias projetando-se sobre as rodovias. Essas situações são adequadamente tratadas através de outras estratégias envolvendo a reconstrução de cruzamentos e a conexão de segmentos de rodovia.

Observa-se também que a presença de bordas, geradas pela vegetação próxima e paralelas às margens das rodovias, não representaram nenhum problema para o método. Além disso, nota-se que os falsos positivos são bastante raros, mostrando novamente que a modelagem utilizada reflete bastante satisfatoriamente a realidade. Quanto ao tempo de processamento, tendo por referência os mesmos recursos computacionais do experimento anterior, aproximadamente 3 minutos foram despendidos para gerar os resultados mostrados na figura 6, contra aproximadamente 1 minutos do experimento anterior.

FIGURA 06 - RESULTADO OBTIDO COM O PROCESSO DE EXTRAÇÃO DE SEGMENTOS DE RODOVIA



A imagem (272 x 1168 pixels, figura 7) utilizada no terceiro experimento é também de alta resolução, embora nesse caso a largura média (20 pixels) da rodovia seja a metade da largura média das rodovias presentes na imagem usada no experimento anterior.

A figura 7 mostra os resultados obtidos através da aplicação do processo de reconhecimento e extração de segmentos de rodovia aos dados de imagem. O

resultado obtido com esta imagem é satisfatório, sendo que algumas falhas são verificadas ao longo da região de maior curvatura, devido a não verificação da regra de anti-paralelismo do gradiente nesse trecho. Observa-se também que os falsos positivos, embora raros, estão presentes. Como já foi comentado anteriormente, quando da análise dos resultados obtidos com o experimento anterior, novos desenvolvimentos deverão reparar as falhas cometidas pelo algoritmo de reconhecimento e extração de segmentos de rodovia. Quanto ao tempo de processamento, aproximadamente 2 minutos foram suficientes para gerar os resultados mostrados na figura 7, com os mesmos recursos computacionais usados nos experimentos anteriores.

FIGURA 07 - RESULTADO OBTIDO COM O PROCESSO DE EXTRAÇÃO DE SEGMENTOS DE RODOVIA



4. CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS FUTURAS

Este artigo apresentou um método automático para a extração de segmentos de rodovias em imagens de média e de alta resolução de cenas rurais. A inovação está na forma que os quatro objetos semânticos de rodovias são definidos e na definição de um conjunto de regras de conexão entre os mesmos.

Com o objetivo de avaliar o potencial do método no reconhecimento e extração de segmentos de rodovia, experimentos com uma imagem de média resolução e duas de alta resolução foram conduzidos. Nos três casos, os resultados obtidos podem ser considerados bastante satisfatórios, pois encontram-se bem próximos do previsto teoricamente. Pequenas desconexões são normais porque as etapas intermediárias, necessárias para a extração de linhas poligonais, são sensíveis às irregularidades nas bordas de rodovia. Já os cruzamentos de rodovia não podem ser reconstruídos pelo método porque não podem ser modelados pelos quatro objetos semânticos de rodovia. Embora em pequeno número, alguns falsos positivos ocorreram nos três experimentos realizados.

Para trabalhos futuros, visando a reconstrução completa da malha viária rural, está previsto o desenvolvimento de metodologias que possibilitem a conexão entre

segmentos de rodovia, a reconstrução de cruzamentos de rodovias e a eliminação de falsos positivos. Neste contexto, técnicas baseadas no conceito de espaço-escala encontram-se em desenvolvimento.

5. REFERÊNCIAS

AGOURIS, P.; GYFTAKIS, S.; STEFANIDIS, A. Uncertainty in image-based change detection. In: ACCURACY 2000, **Proceedings...** Amsterdã, 2000, p. 1-8.

BAJCSY, R.; TAVAKOLI, M. Computer recognition of roads from satellite pictures. **IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics**, v. 6, n. 9, p. 76-84, 1976.

BAUMGARTNER, A.; STEGER, C.; MAYER, H.; ECKSTEIN, W.; EBNER, H. Automatic road extraction based on multi-scale, grouping, and context. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 66, n. 7, p. 777-785, 1999.

BORDES, G.; GUÉRIN, P.; GIRAUDON, G.; MAÏTRE, H. Contribution of external data to aerial analysis. In: INTERNATIONAL ARCHIVES FOR PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING, Amsterdã, Vol. 32, **Proceedings...**Viena: ISPRS, 1996, p. 134-138.

DAL POZ, A. P.; AGOURIS, P. Georeferenced road extraction and formulation of hypotheses for new road segments. In: CONFERENCE 'AUTOMATED GEOSPATIAL IMAGE AND DATA EXPLOITATION', **Proceedings...**Orlando-FL: SPIE, 2000, p. 56-65.

DAL POZ, A. P. Semi-automatic road extraction methods by dynamic programming optimization and a cooperative road follower. **The Photogrammetric Journal of Finland**, v. 17, n. 2, p. 13-22, 2001.

DAL POZ, A.P.; SILVA, M. A. O. Active testing and edge analysis for road centreline extraction. In: INTERNATIONAL ARCHIVES FOR PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING, Amsterdã, **Proceedings...**Graz: ISPRS, 2002, p. 44-47.

DOUCETTE, P.; AGOURIS, P.; STEFANIDIS, A.; MUSAVI, M. Self-organized clustering for road extraction in classified imagery. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 55, p. 347-358, 2001.

FISSET, R.; CAVAYAS, F.; MOUCHOT, M. C.; SOLAIMAN, B.; DESJARDINS, R. Map-image matching using a multi-layer perceptron: The case of the road network. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 53, p. 76-84, 1998.

GEMAN, D.; JEDYNAK, B. An active testing model for tracking roads in satellite images. **IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence**, v. 18 n. 1, p. 1-14, 1996.

GRUEN, A.; LI, H. Semi-automatic linear feature extraction by dynamic programming and LSB-Snakes. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 63, n. 8, p. 985-995, 1997.

HINZ, S.; BAUMGARTNER, A.; MAYER, H.; WIEDEMANN, C.; EBNER, H. Road Extraction Focussing on Urban Areas. In: AUTOMATIC EXTRACTION OF MAN-MADE OBJECTS FROM AERIAL AND SPACE IMAGES, **Proceedings...**Rotterdam, 2001, p. 255 - 265.

HINZ, S.; BAUMGARTNER, A. Urban Road Net Extraction Integrating Internal Evaluation Models. In: INTERNATIONAL ARCHIVES FOR PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING, Amsterdã, **Proceedings...**Graz: ISPRS, 2002.

JAIN, R.; KASTURI, R.; SCHUNCK, B. G. **Machine Vision**. MIT Press and McGraw-Hill, Inc., New York, 1995, 549p.

PRICE, K. Urban street grid description and verification. In: IEEE WORKSHOP ON COMPUTER VISION, **Proceedings...**Palm Springs, 2000, p. 148-154.

QUAM, L. H. Road tracking and anomaly detection in aerial imagery. In: IMAGE UNDERSTANDING WORKSHOP, **Proceedings...**, 1978, p. 51-55.

VOSSelman, G.; de KNECHT, J. Road tracing by profile matching and Kalman filtering. In: AUTOMATIC EXTRACTION OF MAN-MADE OBJECTS FROM AERIAL AND SPACE IMAGES, **Proceedings...**Basel, 1995, p. 265-274.

WIEDMANN, C.; HINZ, S. Automatic extraction and evaluation of road networks from satellite imagery. In: INTERNATIONAL ARCHIVES OF PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING, Amsterdã, **Prodeedings ...**Munich: ISPRS, V. 32, 1999, p. 95-100.

5. AGRADECIMENTOS

Este trabalho contou com apoio da FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, Brasil) - Processo no. 2001/01168-5 (Auxílio à Pesquisa vigente).

UMA METODOLOGIA PARA MAPEAMENTO TRIDIMENSIONAL DE SÍTIOS HISTÓRICOS USANDO TÉCNICAS DE FOTOGRAMETRIA DE BAIXO CUSTO

Bruno Nobre Lopez¹
Jocéli de Andrade²
Msc. Hideo Araki³
Dr. Jorge Silva Centeno⁴

- 1 Universidade Federal do Paraná – lopez@cce.ufpr.br
- 2 Universidade Federal do Paraná – joceli_andrade@ig.com.br
- 3 Universidade Federal do Paraná – haraki@geoc.ufpr.br
- 4 Universidade Federal do Paraná – centeno@geoc.ufpr.br

RESUMO

Este trabalho apresenta uma metodologia de levantamento tridimensional de sítios históricos, utilizando equipamentos de baixo custo. Como objeto de estudo, edificações tradicionais da imigração polonesa, localizadas no Bosque João Paulo II, em Curitiba, foram documentadas. O modelo tridimensional é gerado a partir de fotografias tomadas com uma câmara fotográfica digital convencional, num processamento utilizando o método das câmaras convergentes através do software Photomodeler. Foi realizado um comparativo de medidas de distância entre pontos no modelo de uma edificação e as correspondentes distâncias obtidas por técnica topográfica. Um modelo tridimensional virtual, com texturas realistas extraídas das fotografias, foi gerado. O produto final foi disponibilizado na Internet utilizando ferramentas de realidade virtual (VRML), juntamente com informações turísticas do bosque João Paulo II

Palavras-chave: Baixo custo, Photomodeler, Restituição, VRML.

ABSTRACT

This work aims to a methodology for three-dimensional (3D) surveying of historical sites, using low cost equipment. The study area is located in Curitiba, at the Bosque João Paulo II, and comprises a set of houses that are examples of the constructions of the first polish immigrants. The 3D model of the buildings was generated from photographs taken with a conventional digital camera and the

software Photomodeler that uses the principle of the convergent cameras. A comparison between the distances measured in the building model and the distances obtained with topographic techniques was also performed. A realistic 3D model was also constructed using the coloured textures taken from the photographs. The final product is available on the internet, using virtual reality tools (VRML), along with important information about the Bosque João Paulo II.

Keywords : Low cost , Photomodeler, Mapping, VRML.

1. INTRODUÇÃO

A preocupação com a preservação do patrimônio histórico e cultural dos povos ganhou importância nos últimos anos e a cada dia a sociedade toma maior consciência da necessidade de se preservar e documentar este legado. Entre os objetos alvo das políticas de preservação encontram-se as edificações históricas ou típicas de um período cultural. Este é o caso dos assentamentos de colonos no interior do Paraná e outros estados do sul do Brasil. Casas e pequenas vilas foram construídas a muitos anos com as características típicas européias por colonos vindos de países como Polônia, Itália ou Alemanha. Hoje, estas edificações perdem espaço em função da modernização e a expansão urbana. Existe, portanto, a necessidade de levantar estas construções para sua documentação e registro, bem como para facilitar eventuais reformas ou restaurações futuras. Para isto, técnicas baratas, rápidas e acessíveis a usuários com poucos conhecimentos são almejadas. Entre as opções, destaca-se a fotogrametria de curta distância recomendada pelo Comitê Internacional de Conservação e Restauração de Monumentos e Sítios (ICOMOS/UNESCO).

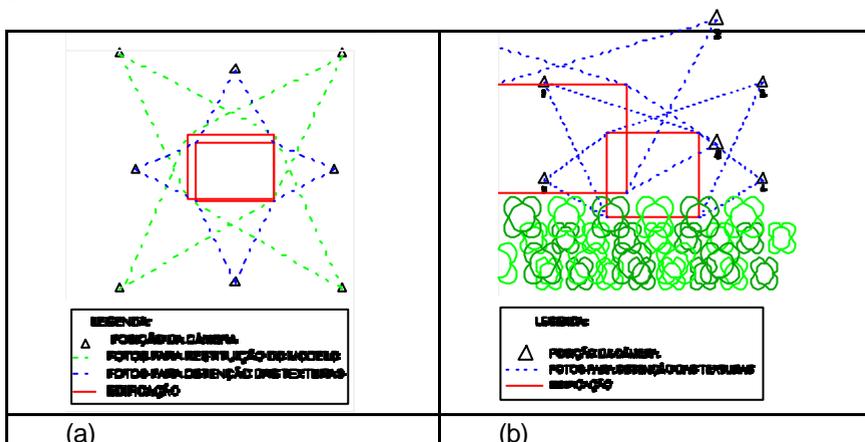
O presente trabalho aborda uma metodologia rápida e barata para o levantamento de sítios históricos utilizando equipamentos de baixo custo, bem como a veiculação destas informações através da Internet, valendo-se de linguagens de modelagem tridimensional e realidade virtual. Como exemplo, são apresentados os trabalhos de documentação do Bosque João Paulo II, situado em Curitiba.

2. METODOLOGIA

Para a realização deste trabalho foram executados os seguintes passos: tomada das fotografias, restituição do modelo tridimensional das casas utilizando o software *Photomodeler Lite*, montagem do Bosque João Paulo II através do software *3D Studio Max*, exportação para VRML e disponibilização dos dados na Internet.

A coleta das fotografias foi feita com a máquina Kodak DC290. As fotografias foram obtidas mantendo-se a distância focal de 8 mm, com qualidade *Uncompress (tiff)* e resolução *Standard (720x480 pixels)*. A metodologia para a tomada das fotografias pautou-se em fazer a cobertura de todo o entorno das edificações com, pelo menos, três fotografias. As fotografias utilizadas para restituição dos modelos foram obtidas conforme figura 1a. Elas foram planejadas prevendo elevado grau de sobreposição de imagens, havendo assim uma quantidade elevada de pontos homólogos, minimizando erros na etapa de ajustamento. Existiram casos em que não houve a possibilidade de se fotografar todo o entorno por problemas de obstrução devido à vegetação. Os pontos homólogos deveriam ser imageados em, pelo menos, duas fotografias. Este problema foi solucionado conforme figura 1b. A iluminação foi de suma importância neste processo. Sendo assim, fotografaram-se as edificações no intervalo das 13:00 às 15:00 (horário de verão) visando a homogeneidade de luz solar nas edificações e a minimização das sombras.

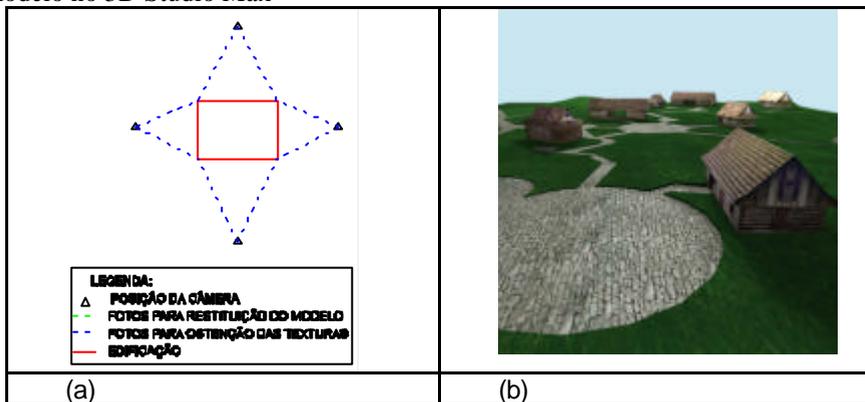
FIGURA 1 – (a) Posições para tomada das fotos (b) Obstruções causadas pela vegetação



Para a formação dos modelos tridimensionais utilizou-se o software *Photomodeler-Lite*. Este software restitui os modelos tridimensionais das edificações através de recessão espacial seguida de ajustamento. A restituição dos modelos foi baseada na marcação monoscópica de arestas e outros pontos notáveis em cada fotografia. Posteriormente estes pontos foram referenciados foto a foto. Foram selecionados os cantos das edificações bem como pontos na cumeeira, pontos de mudança de plano estrutural, etc. Não se fez necessária a utilização de alvos nas edificações devido ao minucioso planejamento da tomada das fotos.

Os modelos restituídos no *Photodeler-Lite* foram exportados para o software *3D Studio Max*, bem como a base cartográfica digitalizada do Bosque João Paulo II na escala 1:500. Os modelos foram transladados e girados para que fossem corretamente posicionados sobre a base cartográfica. A etapa subsequente foi a colocação das texturas referentes a cada edificação. Estas texturas foram obtidas através das fotografias tiradas ortogonalmente a cada fachada, conforme ilustrado na figura 2a. Para cada face do modelo tridimensional foi atribuída a sua textura correspondente. Para o sucesso desta operação foi preciso fazer a priori recortes e edições nas fotografias. Após a associação das texturas, o modelo foi renderizado, conforme exemplificado na figura 2b.

FIGURA 2 – (a) Fotos para a obtenção das texturas (b) Renderização do modelo no 3D Studio Max



O modelo tridimensional gerado no *3D Studio Max* foi exportado para a linguagem VRML (Virtual Reality Modeling Language). O arquivo gerado foi disponibilizado em uma página HTML para ser visualizado pelos usuários da Internet.

3. ANÁLISE DOS RESULTADOS E CONCLUSÃO

Neste trabalho foi proposta uma metodologia de restituição digital de baixo custo, realizada com rapidez, onde a precisão obtida, de aproximadamente 5 cm, é aceitável por se tratar de documentação histórica.

Notou-se que a utilização de câmaras digitais convencionais é viável. Entretanto, para uma restituição mais precisa, torna-se necessário possuir uma câmara digital profissional. Isso porque não houve a possibilidade de se calibrar a

câmara comum, sendo os dados de calibração importantes para a restituição do modelo 3D no Photomodeler.

A qualidade geométrica do produto gerado superou as expectativas. Porém está aquém da precisão obtida com fotogrametria convencional. Foi realizada a comparação dos dados obtidos através do Photomodeler com os dados levantados por topografia (método de interseção a vante). A média da diferença de medidas entre as duas técnicas foi de aproximadamente 3 cm e não é percebida em escalas menores que 1:100. Além das diferenças geométricas serem pequenas, o levantamento fotográfico permite a recuperação da informação pictórica das edificações. Outra vantagem desta metodologia é que pode ser utilizada por técnicos que não possuem o conhecimento de restituição, pois se baseia na marcação monoscópica de pontos em fotografias.

O produto gerado foi disponibilizado na Internet. Este produto é atrativo para o público por ser de fácil compreensão e interação. O usuário observa o ambiente virtual gerado e captura informações visuais e alfa-numéricas. Além disso, o arquivo gerado é pequeno, fazendo com que o acesso do Internauta seja ágil.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BÄHR, H. P et al. **Documentation of Brazilian Historical Towns: High Tech at Low Cost.** In: CIPA-ICOMOS, 1999, Olinda. Disponível em: <http://cipa.icomos.org/papers/1999cd/artigos/03/O_Renunc.pdf> Acesso em: 01 nov. 2002.

CURITIBA, Prefeitura Municipal. IPPUC. Curitiba, 1987. Planta na escala 1:500. Reprodução em fotocópia.

GOMES, J. M. G.; PRADO, W. S.; ERWES, H.; KOATZ, G. D. **Um Projeto Fotogramétrico no Brasil: a Utilização do Software Photomodeler.** In: XIX CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, 1999, Recife. Disponível em: <<http://www.cartografia.org.br/xixcbccd/artigos/c4/CIV-04/capela.pdf>> Acesso em: 01 nov. 2002.

KODAK. **Manual KODAK DC290.** Disponível em <<http://www.KODAK.de>> Acesso em 30 out. 2002.

LOCK, C.; COELHO, A. H.; ZANETTE, A. P.; MARTINS, J. M. **Aplicações da Fotogrametria à Curta Distância para Restituição Digital e Modelagem em 3D de Edificações e Estruturas.** In: XIX CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, 1999, Recife. Disponível em: <<http://>

www.cartografia.org.br/xixcbccd/artigos/c4/CIV-19/art_reci.pdf.> Acesso em: 01 nov. 2002.

RENUNCIO, Luiz Ernesto. **A Low Cost Documentation and Retrieval System of Distributed Data Sets for a Historical Town in Brazil**. Munchen, 2001. 91 p. Dissertação (Doutorado em Fotogrametria) – Universidade Karlsruhe.

VRML. Especificações da linguagem VRML. Disponível em < <http://www.vrml.org> > Acesso 05 jan. 2003.

APLICAÇÃO DE UMA REDE NEURAL ARTIFICIAL E SENSORIAMENTO REMOTO NA CLASSIFICAÇÃO DA ÁREA URBANA DE PRESIDENTE PRUDENTE

Letícia Andrade Sabo
Maria de Lourdes Bueno Trindade Galo

Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas – FCT/Unesp
 {sabo, mlourdes}@prudente.unesp.br

RESUMO

A grande diversidade de padrões que ocorrem em uma área urbana dificulta sua classificação em uso e ocupação do solo a partir de dados orbitais de sensoriamento remoto. Muitas vezes torna-se necessário usar outros atributos de natureza não-espectral ou que considerem a variabilidade espacial interna observada nos padrões. Os modelos de redes neurais artificiais, diferente de muitos classificadores convencionais usados em sensoriamento remoto, permitem a incorporação de dados de natureza não espectral na classificação. Como dados de entrada para aplicação de uma rede neural artificial, dimensionada com o intuito de discriminar variações na densidade de ocupação na área urbana e de expansão urbana de Presidente Prudente - SP, foram usadas imagens multiespectrais e pancromática adquiridas pelo sistema orbital ETM+/Landsat-7, enquanto que as classes de interesse foram estabelecidas com base na Carta de Zoneamento e Uso do Solo Urbano. As imagens foram submetidas a um processo de reamostragem do tamanho do pixel nas bandas multiespectrais, ao georreferenciamento dos dados e fusão de imagens com resolução da banda pancromática. Uma imagem de textura foi gerada a partir da banda pancromática, a fim de melhorar a discriminação das classes de interesse. A partir disso, diferentes arquiteturas de redes neurais foram treinadas a partir de amostras adquiridas dos dados de entrada constituídos pelas imagens fusão e de textura. Após o treinamento e seleção da arquitetura mais adequada, a rede neural artificial foi aplicada na classificação da cena completa, produzindo as ativações de saída da rede. Tais ativações foram convertidas em uma imagem mostrando a dispersão espacial das classes mapeadas pela rede. As classificações resultantes da aplicação da rede representaram adequadamente as classes de densidade de ocupação urbana, para algumas das arquiteturas treinadas, indicando a viabilidade da aplicação de modelos de redes neurais artificiais na classificação de padrões com maior grau de variabilidade espacial.

Palavras-chave: Sensoriamento Remoto; Redes neurais Artificiais; Classificação de área urbana.

ABSTRACT

Diversity of urban patterns makes difficult land use classification using remote sensing data. Often, non-spectral attributes or those that consider the spatial variability of patterns can be useful. Models of artificial neural networks allow the incorporation of non-spectral data nature in the classification and are different of conventional classification in remote sensing. Multispectral and panchromatic images acquired by the ETM+/Landsat-7 orbital system were used as input data for artificial neural network application, in order to discriminate variations in density occupation of urban area and urban expansion of Presidente Prudente. Multispectral images were previously georeferenced, resampled and fused with the panchromatic band, preserving its highest spatial resolution. A texture image was generated from panchromatic band, in order to improve the class discrimination. Different architectures of neural networks were trained from acquired samples of the input data, constituted by the fusion images and texture. After the training and selection of the most suitable architecture, the artificial neural network was applied in the classification of the complete scene, producing the activations of the net output values. Such activations were converted into an image showing the spatial dispersion of the class. The class of urban density occupation was correctly represented. The method is suitable to pattern classification in areas with high degree of variability.

Keywords: Remote sensing; Artificial Neural Network; Urban Classification.

1. INTRODUÇÃO

A classificação das áreas urbanas em categorias de uso e ocupação do solo apresenta maior dificuldade pelo fato das cidades serem bastante heterogêneas, com diferentes áreas funcionais desempenhando determinados papéis no espaço urbano. A localização dos diferentes tipos de uso dentro da cidade é feita com base em determinados padrões que essas áreas apresentam em uma imagem, os quais podem refletir a história do crescimento, a influência de decisões governamentais, etc. (INPE, 1980). A identificação desses padrões e a definição de categorias que os caracterizem podem limitar a utilização de certos métodos de classificação.

De acordo com Crosta (1992), as técnicas convencionais de classificação desenvolvidas com base no agrupamento de valores que representam a intensidade

espectral (níveis de cinza) desconsideram outro componente importante do conteúdo de informação de uma imagem: o arranjo espacial dos pixels (textura e forma). Nesse sentido, Lobo (1997) argumenta que uma das maiores dificuldades na classificação temática realizada a partir de imagens de sensoriamento remoto decorre das heterogeneidades nas categorias de cobertura da terra, as quais apresentam uma aparência texturada.

Devido à complexidade dos ambientes urbanos e à ocorrência de padrões misturados que caracterizam sua ocupação, a utilização restrita aos dados multiespectrais de sensoriamento remoto na sua classificação tem se mostrado pouco efetiva.

Na tentativa de superar as limitações inerentes aos métodos de classificação convencionais, têm-se observado um interesse renovado pelas pesquisas de redes neurais artificiais aplicadas na classificação de dados de sensoriamento remoto, uma vez que tais abordagens de classificação têm apresentado resultados expressivos quando comparados aos métodos tradicionais (VENTURIERI & SANTOS, 1998). Tal fato tem levado a uma crescente utilização dessa ferramenta, particularmente das redes multicamadas treinadas com o algoritmo de aprendizagem *backpropagation*.

Considerando o exposto e face à disponibilidade da Carta de Zoneamento e Uso do Solo Urbano de Presidente Prudente, concebeu-se uma abordagem de classificação supervisionada usando redes neurais artificiais, na qual os dados de entrada pudessem incluir dados de textura e as classes de saída fossem estabelecidas com base na carta de zoneamento. Assim, o objetivo maior da aplicação desenvolvida foi utilizar uma rede neural artificial na classificação dos tipos de uso e ocupação do solo da área urbana e de expansão urbana de Presidente Prudente, a partir de dados multiespectrais e de textura. O presente artigo trata, então, dos aspectos envolvidos na aplicação dessa abordagem de classificação supervisionada

2. APLICAÇÃO DE REDES NEURAIS ARTIFICIAIS EM CLASSIFICAÇÃO

Muitas vezes, as propriedades estatísticas de uma classe não podem ser estimadas, de modo que os problemas de teoria de decisão são melhor trabalhados pelos métodos que produzem diretamente as funções de decisão através dos dados de treinamento, sem levar em conta qualquer informação probabilística das classes de interesse (GONZALEZ & WOODS, 2000).

As redes neurais artificiais (RNA), modelos computacionais que consideram a condição anterior, são organizadas em camadas que definem sua topologia ou arquitetura. Os modelos de redes neurais podem ser de camada simples (*perceptron*) constituídas por um grupo de neurônios arranjados em apenas uma camada, ou multicamadas (*perceptron multicamadas*), formadas por várias camadas intermediárias ou pela combinação de várias redes de camadas simples (VENTURIERI & SANTOS, 1998). Assim, a topologia de uma rede refere-se à

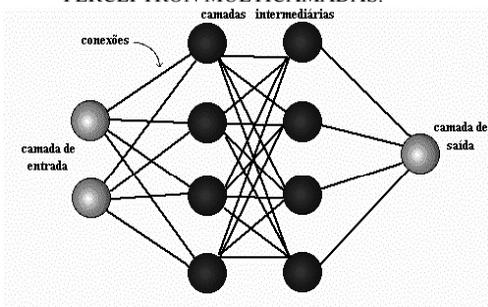
maneira como os elementos de processamento são organizados, o que influencia no desempenho da rede, uma vez que sua estrutura está intimamente ligada ao algoritmo de aprendizado usado na fase de treinamento da rede.

Segundo Brondino (1999) as arquiteturas multicamadas são as mais conhecidas e utilizadas pelos pesquisadores, sendo formada por uma camada de entrada, uma ou mais camadas escondidas e uma camada de saída, de modo que:

- Camada de Entrada, na qual os padrões são apresentados à rede;
- Camadas Intermediárias ou Ocultas, responsáveis por grande parte do processamento, através das conexões ponderadas, podendo ser consideradas como extratoras de características;
- Camada de Saída, na qual o resultado final é concluído e apresentado.

Na Figura 1 apresenta-se a organização das camadas em uma rede *Perceptron Multicamadas*.

FIGURA 1 – ORGANIZAÇÃO DAS CAMADAS EM UMA REDE NEURAL ARTIFICIAL PERCEPTRON MULTICAMADAS.



Fonte: Tatibana & Kaetsu (2000)

O algoritmo de treinamento ou aprendizagem “*backpropagation*” utilizado para treinar uma rede *Perceptron Multicamadas* é derivado Regra Delta Generalizada, e se constitui no método mais utilizado para aprendizagem supervisionada. Esse algoritmo permite um ajuste de pesos em cada uma das camadas da rede e é projetado para minimizar a soma do quadrado do erro (ou erro médio quadrático) entre a saída calculada por uma arquitetura multicamadas e a saída desejada. O componente essencial desse algoritmo é o método iterativo que propaga regressivamente o erro requerido para adaptar os pesos, a partir dos neurônios da camada de saída para os nós das camadas precedentes (LIPPMANN, 1987).

De acordo com Raia (2000), quando um padrão é apresentado à rede pela primeira vez, esta produz uma saída aleatória. A diferença entre esta saída e a desejada constitui o erro. A intenção do treinamento é diminuir gradativamente o valor desse erro. Para isso, o valor dos pesos deve ser ajustado a cada nova iteração.

A regra *backpropagation* estabelece que os pesos da camada de saída sejam os primeiros a serem ajustados e, posteriormente, os pesos das demais camadas, de trás para frente.

A aprendizagem deve ser finalizada quando o erro, para o conjunto de validação, for mínimo, pois nesse ponto a rede generaliza melhor. Quando a aprendizagem da rede não é adequadamente finalizada ocorre um super-treinamento e o desempenho da rede para o conjunto total de dados decresce, apesar de que os erros para os dados de treinamento ainda podem diminuir.

Segundo Zell et al. (1995), uma das maiores vantagens das redes neurais é sua capacidade de generalização. Isto significa que uma rede treinada pode classificar dados de treinamento, sem conhecimento prévio de todo o conjunto. Em aplicações do mundo real, normalmente se dispõe de uma pequena parte dos padrões possíveis para a generalização da rede.

3. MATERIAL E MÉTODO

No desenvolvimento do trabalho foi utilizada uma imagem multiespectral de sensoriamento remoto, (ETM+/Landsat), disponível em todas as bandas espectro refletivo e uma carta do “Zoneamento de Uso e Ocupação do Solo Urbano” de Presidente Prudente. Nessa carta estão especificadas as zonas residenciais de baixa, média e alta densidade populacional, as zonas de comércio e serviços, zonas industriais, zonas de proteção ambiental e as zonas especiais, cuja definição espacial serviu de subsídio para estabelecer as categorias de uso e ocupação do solo urbano passíveis de serem discriminadas na imagem, e para a aquisição de dados de treinamento para a rede neural.

Na classificação dos dados foi usado o simulador de redes neurais artificiais SNNs - *Stuttgart Neural Networks Simulator*, que se constitui em um ambiente para simulação e pesquisa em redes neurais, desenvolvido por um grupo de pesquisadores na Universidade de Stuttgart. Engloba uma vasta quantidade dos modelos de redes neurais mais conhecidos e utilizados atualmente, e proporciona um ambiente eficiente e flexível para auxiliar a criação, o treinamento e a manutenção das redes neurais artificiais.

3.1 – PRÉ-PROCESSAMENTOS DA IMAGEM

Os pré-processamentos aplicados às imagens foram: reamostragem do pixel, fusão de imagens e georreferenciamento. Além disso, foram especificadas as classes de saída para treinamento da rede.

No processo de reamostragem do tamanho do pixel foi feita a coincidência da resolução espacial das bandas multiespectrais 1, 2, 3, 4, 5 e 7 do sensor ETM+ (resolução espacial de 30 m) com a banda pancromática de resolução igual a 15 m,

com o intuito de preservar as características espectrais da imagem e a melhor resolução espacial da banda pancromática.

O processo de fusão foi realizado a partir da conversão de três bandas multiespectrais, representadas na forma de composições coloridas RGB em componentes I, H, S, e posterior substituição da componente I pela banda pancromática, voltando a produzir imagens no espaço RGB.

Para a utilização dos dados de sensoriamento remoto em conjunto com as demais informações espaciais disponíveis, realizou-se o georreferenciamento das imagens. Esse processo implicou em submeter a imagem a uma transformação geométrica para que as feições representadas tenha coincidência espacial na imagem, na carta de zoneamento e em outros mapas, adotando-se um sistema de referência único para todos os tipos de dados.

Em seguida, foi gerada uma imagem de textura a partir da banda pancromática, já georreferenciada, com o intuito de auxiliar na discriminação das categorias de uso e ocupação do solo urbano, passíveis de serem discriminadas na imagem.

Desse modo, as imagens derivadas dos processamentos anteriores aplicados aos dados ETM+/Landsat (fusão e textura) passaram a constituir os dados de entrada para a rede neural artificial, enquanto as categorias de uso e ocupação estabelecidas a partir da carta de zoneamento e dos padrões que as definem na imagem especificaram as classes de interesse.

3.2 – AQUISIÇÃO DE AMOSTRAS PARA TREINAMENTO E VALIDAÇÃO DA REDE NEURAL

A aquisição dos dados em áreas representativas das classes na imagem foi orientada a partir da carta de zoneamento de Presidente Prudente.

As amostras para treinamento e validação constou da definição e extração de pequenos segmentos de imagem em cada um dos planos de entrada da rede (imagens-fusão resultantes da conversão RGB-IHS-RGB e imagem de textura) e da geração de segmentos com a mesma dimensão, representando apenas as classes desejadas sobre um fundo preto (que caracteriza ausência de informação, pelo fato de estar fora da região delimitada para a amostra). A obtenção dos arquivos individualizados contendo as classes de saída resultou da digitalização de polígonos, cada qual representando uma das classes de interesse, em um plano de informação diferenciado. Esses arquivos foram convertidos em imagens, com as mesmas dimensões das áreas de treinamento e validação, sendo que cada imagem continha apenas áreas representando a classe em questão e fundo. No final, os dados de entrada constituíram seis planos, sendo 5 deles formados pelas imagens-fusão e um deles pela imagem de textura.

3.3 – TREINAMENTOS E SIMULAÇÕES COM ARQUITETURAS DE REDES NEURAIS

A partir da análise do comportamento de uma rede neural durante a fase de treinamento é possível avaliar sua adequação para a classificação dos dados disponíveis. Isto significa que, além de da arquitetura da rede (definida pelo número de camadas escondidas e número de nós em cada camada), devem ser estabelecidos os parâmetros relacionados com as funções de aprendizagem e ativação e com as regras estabelecidas para a atualização de pesos e inicialização da rede, além do critério de término das iterações ou ciclos.

À medida que ficaram estabelecidos os planos de entrada da rede, o número de elementos de processamento para a camada de entrada ficou dimensionado em seis nós. Da mesma forma, o número de elementos de processamento da camada de saída, ficou estabelecido em seis (6) elementos, constituídos pelas classes de interesse (alta, média e baixa densidade de ocupação urbana; mata; loteamentos recentes e corpos d'água).

O modelo de rede neural adotado foi *Perceptron Multicamadas*, com camada de entrada, camadas escondidas e camada de saída. As arquiteturas das redes testadas foram treinadas com o algoritmo de aprendizagem *backpropagation* padrão.

O processo de treinamento por *backpropagation* implica na definição prévia de pelo menos dois parâmetros: a proporção de mudança nos pesos calculados que será usada na correção desses pesos (taxa de aprendizagem) e a diferença entre a resposta esperada e a calculada que é incorporada aos valores atualizados dos pesos durante o treinamento (termo de erro). A taxa de aprendizagem foi fixada em 0,01 e o termo de erro em zero (0), com base em testes anteriores realizados com o simulador e dados de sensoriamento remoto.

Outras definições prévias referem-se às funções de ativação, atualização de pesos e de inicialização da rede. Uma função sigmóide foi usada para verificar se um elemento de processamento era ou não ativado por uma entrada específica. O modo de atualização escolhido foi o *topological-order*, ou estrutura topológica, que leva em conta a organização das camadas na rede, enquanto que os pesos iniciais foram definidos no intervalo entre 0,1 e -0,1. Além disso, estabeleceu-se que a cada 20 iterações (ou ciclos), o treinamento fosse interrompido para calcular o erro (EMQ) para o conjunto de padrões de validação. Esse erro foi monitorado tanto para padrões de treinamento quanto para validação e era verificado se o mesmo atingia o valor mínimo pré-estabelecido, usualmente de 0,05.

Como o simulador permite operar simultaneamente com dois conjuntos de padrões, um de treinamento e outro de validação, a maneira mais adequada para verificar a capacidade de generalização da rede é monitorar a queda do erro médio quadrático (EMQ) para o conjunto de validação, entre a fase de treinamento, e finalizar o processo quando esse atingir um valor mínimo (Zell et al., 1995). Com

base nesse erro e no resultado da aplicação da rede treinada à área estabelecida para validação, foram selecionadas as arquiteturas de rede mais adequadas para classificar o conjunto de dados espaciais.

3.4 – APLICAÇÃO DAS ARQUITETURAS DE REDE TREINADAS NA CLASSIFICAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDOS

Como no caso dos dados de treinamento e validação, as imagens contendo toda a área de interesse (área urbana e de expansão urbana de Presidente Prudente) foram combinadas a fim de constituírem um único arquivo de padrões no formato aceito pelo simulador.

Normalmente a arquitetura de rede treinada que resulta em menor EQM para os dados de validação é considerada como a que melhor discrimina as classes, sendo aplicada a toda a área de interesse e resultando em um arquivo contendo os valores de ativação calculados para cada elemento de saída da rede (classes), para cada um dos vetores de entrada (pixels). Essa concepção foi adotada até se verificar que, apesar do erro bastante baixo obtido na validação de algumas arquiteturas, o número de classes discriminadas foi pequeno. A partir dessa constatação passou-se a adotar toda a área de interesse para validação da rede.

Finalmente, os arquivos de saída da rede foram convertidos em uma imagem, para cada uma das arquiteturas de rede aplicadas à cena contendo toda área de interesse.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como era esperado, não foi possível discriminar todas as zonas representadas na carta de zoneamento, pois algumas são caracterizadas essencialmente em função de um uso cultural que, muitas vezes, não define um padrão específico na imagem. No entanto, a partir dos critérios adotados para estabelecer Zonas Residenciais, que são parâmetros que podem estar associados a um padrão de textura, essas zonas foram agrupadas com base nos padrões específicos definidos na imagem, relacionados com a intensidade da ocupação física, a qual se manifesta por variações na textura. Desse modo, foram discriminadas categorias relacionadas às áreas de alta, média e baixa densidade de ocupação, áreas verdes, loteamentos novos e corpos d'água.

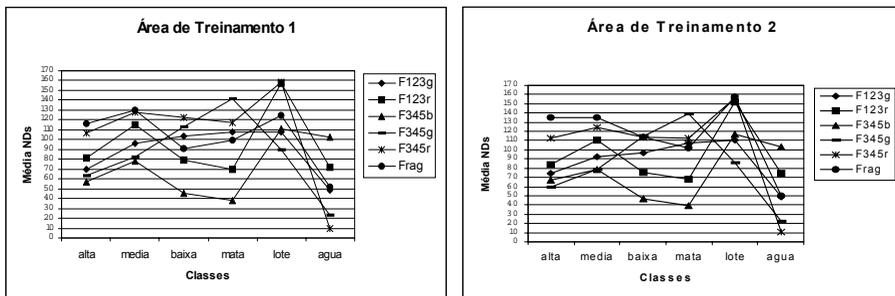
A seguir são apresentadas e analisadas as classificações obtidas a partir da aplicação das diferentes arquiteturas de redes neurais treinadas. Como suporte para essa análise, são abordados alguns aspectos relacionados com os dados de treinamento e validação utilizados no processo.

Para a definição das áreas utilizadas no treinamento e validação das arquiteturas de redes neurais, a maior preocupação foi que cada uma delas incluísse todas as classes de saída, de modo a viabilizar a demarcação do polígono representando as

classes, quando da elaboração das imagens que se constituíram nos planos de saída da rede.

A fim de subsidiar uma análise posterior das classes mapeadas pelas redes testadas e verificar as diferenças entre os números digitais (NDs) das seis classes nas imagens usadas como planos de entrada, estimou-se a média por classe, para amostras de treinamento 1, 2 e para a área validação. A partir dessa estatística foram elaborados gráficos com os valores apresentados na Figura 2.

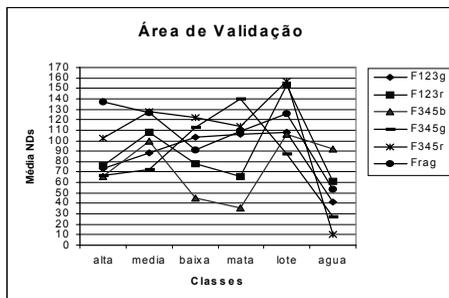
FIGURA 2- MÉDIA DOS NDs/CLASSE PARA A ÁREA DE TREINAMENTO 1 E 2



O gráfico indicado na Figura 2, referente à área de treinamento 1, mostra que as classes que apresentam NDs melhor distribuídos, são *alta* e *baixa densidade* e *mata*. A legenda apresentada nas figuras acima, representa tanto as fusões realizadas com as bandas 1, 2 e 3 associadas às componentes de cor verde - G e vermelho - R (*F123g* e *F123r*), como aquelas resultantes das bandas 3, 4 e 5 associadas a azul - B, G e R (*F345b*, *F345g* e *F345r*). Quanto à área de treinamento 2 pode-se perceber que as classes melhor definidas são *alta* e *mata*, uma vez que os NDs médios obtidos para essas classes não são tão próximos.

As estimativas de média dos NDs/classe foi feita também para a amostra de validação, cujos valores são apresentados na Figura 3.

FIGURA 3 – MÉDIA DOS NDs/CLASSE PARA A ÁREA DE VALIDAÇÃO



Pela observação da Figura 3 pode-se verificar que apesar da classe *alta densidade de ocupação urbana* apresentar médias de NDs próximas, as diferenças nas médias das classes definem uma variabilidade nos valores que tornam a forma das curvas quase similares, indicando um comportamento geral bem próximo para os dados de treinamento.

4.1 – ARQUITETURAS DE REDES NEURAIIS UTILIZADAS

Estabelecidas as condições necessárias para a realização da classificação, uma arquitetura parcial para as redes pode ser determinada fixando-se o número de elementos de processamento da camada de entrada (6 nós) e o número de unidades de processamento de saída (6 nós, um para cada classe).

Para estabelecer o número de camadas escondidas, uma série de simulações foi realizada, nas quais o número e a configuração da camada intermediária foram sistematicamente modificados. A verificação do desempenho de cada arquitetura foi feita, inicialmente, para os dados de validação.

Assim, foram realizadas simulações com uma única camada escondida, com duas camadas e, ainda, com três camadas intermediárias, as quais estão resumidas na Tabela 1. Na primeira coluna da tabela, a arquitetura da rede é explicitada como [números de nós na primeira camada – número de nós escondidos – número de nós na camada de saída], enquanto que na última coluna, m representa o número de elementos de processamento na camada de entrada; n o número de nós na camada de saída e d é o produto $m \times n$.

TABELA 1 – RESUMO DAS SIMULAÇÕES USANDO A AMOSTRA DE VALIDAÇÃO

Arquitetura da Rede	Número de ciclos de Treinamento	EMQ – Validação	Número de classes discriminadas	Critério para definir o número de nós escondidos
[6-13-6]	400	0,01879	03	$(2d+1)$
[6-36-6]	400	0,01970	04	Produto $m \times n$
[6-13-7-6]	400	0,02190	03	Primeira camada $(2d+1)$ e segunda camada $[(2d+1)-m]$
[6-15-9-6]	400	0,02021	01	Tentativa e erro
[6-21-11-6]	500	0,02054	01	Tentativa e erro

Tendo-se constatado que as arquiteturas de rede treinadas continuaram discriminando poucas classes da amostra de validação, optou-se por validar essas arquiteturas usando a imagem de toda a área de interesse. Na Tabela 2 são apresentados os resultados da utilização dessa nova abordagem.

TABELA 2 - RESUMO DAS SIMULAÇÕES REALIZADAS USANDO A IMAGEM DE TODA A ÁREA DE INTERESSE PARA VALIDAÇÃO.

Arquitetura de RNA	Ciclos de treinamento	EMQ (Treinamento)	EMQ (Classificação)	Número de Classes
[6-13-6]	400	0,02607	1,86215	04
[6-36-6]	400	0,02102	1,87122	04
[6-13-7-6]	200	0,02954	1,84411	01
[6-13-7-6]	1200	0,02535	1,87900	04
[6-15-9-6]	400	0,02873	1,85952	02
[6-15-9-6]	1200	0,02507	1,88192	04
[6-21-11-6]	200	0,02947	1,83694	01
[6-21-11-6]	1200	0,02507	1,87358	05
[6-21-15-7-6]	200	0,02955	1,84408	01
[6-21-15-7-6]	400	0,02956	1,84666	01
[6-21-15-7-6]	1200	0,02954	1,84287	01

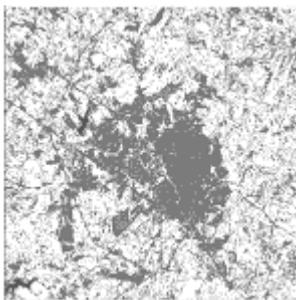
Pode-se verificar que a arquitetura de rede que apresentou um melhor desempenho quanto ao número de classes discriminadas foi a [6-21-11-6], definindo 5 das 6 classes de interesse. Observa-se ainda que as demais arquiteturas, com exceção da [6-21-15-7-6], apresentaram um retorno de 4 classes.

4.2 – MAPEAMENTO DAS CLASSES PELA REDE

Deve-se ressaltar, porém, que o simples retorno da classe não significa um bom desempenho da rede, pois na análise visual das classificações resultantes notou-se que nem todas estavam bem delimitadas e consistentes com a carta de zoneamento e uso do solo urbano.

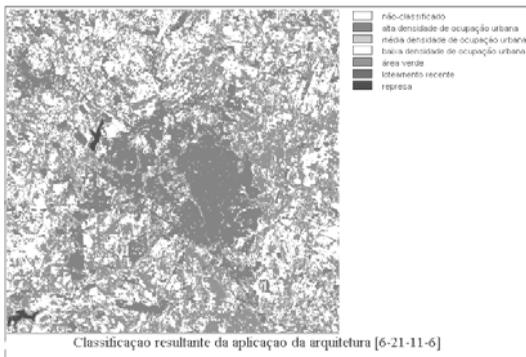
A Figura 4 ilustra a representação obtida mediante a aplicação da maioria das arquiteturas testadas e mostra que apenas a delimitação geral da área urbana fica bem definida em quase todas as classificações realizadas pelas arquiteturas que discriminaram quatro classes.

FIGURA 4 – IMAGEM ILUSTRANDO A CLASSIFICAÇÃO OBTIDA A PARTIR DA APLICAÇÃO DA MAIORIA DAS ARQUITETURAS TESTADAS



Na Figura 5 é mostrada a classificação resultante da aplicação da arquitetura de rede neural [6-21-11-6], considerada a melhor representação das classes de interesse, com base na definição das classes na carta de zoneamento urbano de Presidente Prudente.

FIGURA 4 – CENA CLASSIFICADA COM ARQUITETURA [6-21-11-6]



Com a aplicação da arquitetura com duas camadas escondidas, mas com um número maior de elementos de processamento nessas camadas, obteve-se uma classificação onde estão representadas cinco das seis classes de interesse. Nesse caso, apenas a classe “*loteamentos recentes*” não foi discriminada. A delimitação da área urbana segue a mesma configuração das demais classificações só que, aparentemente, a ocorrência de “*área verdes*” foi preponderante em relação à classe “*baixa densidade de ocupação urbana*”.

Considerando não apenas o número de classes discriminadas a partir da aplicação das diferentes arquiteturas, mas também como essas classes estão espacialmente definidas na imagem percebeu-se que, apesar da pouca diferenciação entre as classes “*alta e média densidade de ocupação*”, a delimitação geral da área urbana ficou bem definida. A dificuldade em separar essas duas classes pode estar relacionada com o padrão de textura muito similar observado nessas duas classes. Por outro lado, o fato de nenhuma arquitetura treinada ter discriminado a classe “*loteamento recente*” talvez seja decorrente do alto desvio padrão verificado nas amostras de treinamento para essa classe.

4.3 – ANÁLISE DAS CLASSIFICAÇÕES

Apesar de não ter sido utilizado um procedimento criterioso e quantitativo para verificar a consistência das classificações obtidas pela rede, é possível realizar algumas comparações genéricas em relação às classes mapeadas e sua real ocorrência no contexto da cidade.

O centro da cidade, por exemplo, foi corretamente inserido na classe “*alta densidade de ocupação urbana*”, assim como os bairros mais antigos e próximos ao centro, em todas as classificações efetuadas pela rede.

A maior inconsistência na classificação da rede está na definição das áreas associadas à classe “*média densidade de ocupação urbana*” que parece ter sido subestimada. No entanto, observando alguns bairros populares (Ana Jacinta, COHAB, CECAP) que foram associados à classe “*alta*” nas classificações pela rede observa-se que realmente se tratam de locais com uma maior densidade de ocupação, com lotes menores e muitas construções.

5. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos indicam que a inclusão da imagem de textura ao conjunto de dados de entrada submetidos à classificação por uma rede neural permite uma melhor definição geral da área urbana. Porém, na situação em que as redes foram aplicadas, as classes associadas com diferentes densidades urbanas mais homogêneas ou com algum grau de confusão, não foram suficientemente discriminadas. Isso pode estar relacionado com a própria imagem de textura, que

não permitiu uma diferenciação efetiva das classes “*alta*” e “*média*”, ou mesmo com a própria seleção de amostras de treinamento que podem não ter representado adequadamente todas as classes.

As principais dificuldades observadas no decorrer da pesquisa referem-se à: definição das classes e aquisição de áreas de treinamento representativas para as referidas classes. Algumas delas apresentaram-se muito similares em termos de resposta espectral, ou foram pouco representativas nas diferentes imagens que constituíram os planos de entrada apresentados à rede. No entanto, considerou-se que para um primeiro experimento, no qual nem todas as variáveis foram adequadamente previstas e caracterizadas, a aplicação de redes neurais artificiais na classificação supervisionada de alvos urbanos foi bastante promissora.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRONDINO, N.C.M. **Estudo da Influência da Acessibilidade no Valor de Lotes Urbanos Através do Uso de Redes Neurais**. São Carlos, SP, 1999.

CROSTA, A. P.. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**. IAG/UNICAMP, Campinas, 1992. 170p.

GALO, M. L. B. T.. **Aplicação de redes neurais artificiais e sensoriamento remoto na caracterização ambiental do Parque Estadual Morro do Diabo**. São Carlos, 2000. 205f. Tese (Doutorado), Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo.

GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E.. **Processamento Digital de Imagens**. Edgard Blücher, 2000, 717p.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Curso de Treinamento: Introdução às Técnicas de Sensoriamento Remoto e Aplicações**. Relatório INPE – 1869-MD/004, (1980).

LIPPMANN, R. P.. An introduction to computing with neural nets. **IEEE ASSP Magazine**, v.4, 4-22p, 1987.

LOBO, A. Image Segmentation and Discriminant Analysis for the Identification of Land Cover Units in Ecology. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v.35, n.5, 1136-45p, 1997.

RAIA, A. A. J.. **Acessibilidade e Mobilidade na Estimativa de um Índice de Potencial de Viagens Utilizando Redes Neurais Artificiais**. São Carlos, 2000. Tese (Doutorado).

REDES NEURAIAS ARTIFICIAIS. **Site oficial de redes neurais artificiais**. Disponível em: <http://www.icmsc.sc.usp.br/%7Eandre/neural1.html>. Acesso em: 7, Junho, 2002.

STUTTGART NEURAL NETWORK SIMULATOR. **Site oficial do simulador de Redes Neurais Artificiais**. Disponível em: <http://www-ra.informatik.uni-tuebingen.de/SNNS/>. Acesso em: 15.,Maio, 2002.

TATIBANA & KAETSU. **Uma Introdução a Redes Neurais**. Disponível em: www.din.uem.br/ia/neuruais. 2000.

VENTURIERI, A.; SANTOS, J. R. Técnicas de Classificação de Imagens para Análise de Cobertura Vegetal. In: ASSAD, E. D.; SANO, E. E., eds. **Sistema de Informação Geográfica: Aplicações na Agricultura**. Brasília: DF. Embrapa – SPI/Embrapa-CPAC, 1998. p 351-371.

ZELL, A. et al.. **SNNS: Stuttgart Neural Network Simulator. User Manual, Version 4.1**. Stuttgart: University of Stuttgart, 1995.

7 – AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do estado de São Paulo – FAPESP, por ter auxiliado financeiramente a pesquisa.

DESERTIFICAÇÃO NA REGIÃO DE XINGÓ: ANÁLISE E MAPEAMENTO ESPECTRO-TEMPORAL

Neison Cabral Freire¹
Admilson da Penha Pacheco²

1 Universidade Federal de Pernambuco – neisonfreire@ibest.com.br

2 Universidade Federal de Pernambuco – admilpp@npd.ufpe.br

RESUMO

Esta pesquisa tem a missão de analisar e mapear os processos desertificatórios numa porção do semi-árido brasileiro denominado de Região de Xingó, utilizando-se das tecnologias proporcionadas pelo Sensoriamento Remoto e Sistemas de Geoinformação. Historicamente, a região semi-árida brasileira inseriu-se dentro de um modelo de desenvolvimento cuja base econômica não estava atrelada às condicionantes sociais, culturais e ambientais da região. O desafio atual consiste em conciliar a exploração eficiente e reciclável dos limitados recursos naturais do semi-árido nordestino - o “capital natural” - e a necessidade urgente de crescimento material das comunidades sertanejas - o “capital construído pelo homem”. Escolheu-se a área de abrangência do Instituto Xingó como local para o desenvolvimento desta pesquisa pelo fato da inserção daquele numa política de desenvolvimento regional, diferenciada em suas ações, com base em diagnóstico das potencialidades e limitações sócio-econômicas e ambientais, conciliando tecnologia, ciência, produção e diversidades culturais para a construção de um desenvolvimento sustentável, ao propor instrumentos tecnológicos que possibilitem análises alternativas e adequadas para a melhoria da qualidade de vida e bem-estar social das populações que habitam estas áreas. Atuando na Região Nordeste do Brasil, o Instituto Xingó abrange 34 municípios distribuídos entre os estados de Alagoas, Bahia, Pernambuco e Sergipe, correspondendo a uma área aproximada de 45.000 km², cortada pelo rio São Francisco. Esta área de abrangência abriga uma população estimada em 623.000 habitantes (IBGE, 1996), onde se situa o complexo de hidroelétricas de Paulo Afonso, Itaparica e, mais recentemente, Xingó (1994) – todas pertencentes a CHESF – Companhia Hidroelétrica do São Francisco.

Palavras-chave: Sensoriamento Remoto; Desertificação; Caatinga

ABSTRACT

This research has the objective of analysing and mapping a desertification process at Xingó, a semi-arid area in Brazilian Northeast region by using Remote Sensing and Geographic Information Systems technologies. Since Portuguese colonization period the Brazilian semi-arid region has a model of development that is not committed with environment, cultural and social profiles. This situation became to change with Xingo Institut, a Federal Government scientific research institution founded in 1996. In this context, this research intend to discovery desertification process that affect poor communities at a large area between Alagoas, Bahia, Pernambuco and Sergipe states by modeling spacial informations, specifically satellite images in relevant historic periods, demograph, economics and human development datas. At the end of this research the authors intend: to be able to identify deserted areas by environmental desasters, recommended environmental actions to stop desertification process, build a GIS system to be available for consult by students and teachers, and publish maps and datas in Internet.

Keywords: Remote Sensing; Desertification; Caatinga

1. INTRODUÇÃO

1.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS

Esta pesquisa visa permitir a identificação e localização dos processos de degradação ambiental que favorecem a ocorrência de áreas desertificadas na Região de Xingó (Figura 01), localizada numa porção do semi-árido brasileiro, tornando-se imprescindível para a compreensão e a avaliação não apenas de suas causas, como também de seus efeitos sobre a população sertaneja, para isto considerando: ser o semi-árido nordestino um ecossistema único no mundo, ser a Caatinga uma biota vulnerável à degradação e de lenta restauração, e, ainda, o interesse das diversas unidades de projeto e parceiros do Instituto Xingó em levantar, ao nível de amostra, a capacidade de suporte para a ocupação deste espaço.

Para a extração das informações espaciais e devido à extensa natureza geográfica da região, torna-se imprescindível a visão sinótica proporcionada pelas imagens de satélite, aliadas às possibilidades de análises temporais e espectrais dos sensores remotos. Serão coletados dados ambientais referentes aos índices pluviométricos do período em estudo, verificando-se quais as melhores datas de aquisição das cenas orbitais, considerando-se picos mensais acumulados de mínimo e de máximo em ciclos climáticos. Estudos do comportamento das espécies vegetais,

do paleoclima e dos solos também serão abordados para uma melhor interpretação das imagens orbitais.

Dados descritivos de demografia, economia e indicadores de desenvolvimento humano municipais serão sobrepostos à esta base de dados espaciais para se estabelecer as devidas interações, através de aplicativos e modelos computacionais adequados ao tratamento da informação espacial.

FIGURA 01 – CROQUI DE SITUAÇÃO DA REGIÃO DE XINGÓ



2. ELABORAÇÃO DO PROBLEMA

2.1. FORMULAÇÃO

Como o Sensoriamento Remoto e os Sistemas de Geoinformação podem contribuir para a identificação de processos desertificatórios e suas conseqüências sócio-econômicas?

Através do processamento digital de imagens de satélite em séries temporais e do cruzamento com dados descritivos pode-se avaliar a evolução de processos desertificatórios e indicadores sócio-econômicos na área em estudo.

2.2. HIPÓTESE

Quando ocorre um determinado processo desertificatório, verifica-se um recrudescimento dos indicadores sócio-econômicos, através de relacionamentos

geoambientais e antrópicos diretamente vinculados ao fenômeno observado, sendo possível sua identificação através de imagens de satélite.

2.3. OBJETIVOS

2.3.1 Geral

Avaliar o potencial do Sensoriamento Remoto para detecção de áreas desertificadas em regiões de clima semi-árido.

2.3.2 Específicos

2.3.2.1. Identificar áreas desertificadas com utilização de imagens de satélite, nas regiões do espectro visível, a partir de séries temporais e multiespectrais;

2.3.2.2. Analisar as relações de causa e efeito dos processos desertificatórios identificados nas imagens orbitais, numa visão sócio-econômica e ambientalmente sustentável (Figura 02);

2.3.2.3. Elaborar um estudo de caso com o uso de Sensoriamento Remoto e Sistemas de Geoinformação, enfocando a Região de Xingó.

FIGURA 02 – VISTA DO MUNICÍPIO DE CABROBÓ-PE NA REGIÃO DE XINGÓ



Fonte: Jornal do Commercio, edição 20-12-2001, Recife-PE.

3. EMBASAMENTO TEÓRICO

3.1. SENSORIAMENTO REMOTO

Segundo MALDONADO (2001), uma das ferramentas mais importantes para o monitoramento das mudanças de cobertura e uso do solo é oriunda das imagens satelitais, sendo que “no caso de regiões semi-áridas, as condições climática, edáfica e de degradação da paisagem têm importante influência na resposta espectro-textual da cobertura e uso do solo, quando observados em dados sensoriados”. Uma das técnicas mais apuradas refere-se à Análise por Componentes Principais, pois permite avaliar o grau de modificação, provocado pela ação do homem, na paisagem de domínio da Caatinga.

KAZMIERCZAK (1996), ao estudar o semi-árido brasileiro, afirma que “dentro do domínio de aplicações de dados de sensoriamento remoto, verifica-se uma grande falta de informações sobre a Formação da Caatinga: a extensão e o pouco conhecimento existente bastariam para determinar esta região como um dos mais promissores campos de aplicação das tecnologias de sensoriamento remoto, para prover informações sobre os seus recursos”. O autor demonstra em artigo uma metodologia para detecção de índices normalizados de vegetação da Caatinga, como um fator determinante na detecção de áreas desertificadas.

Sob este aspecto, ACCIOLY (2001) afirma que “um dos indicadores da desertificação é a redução da cobertura de plantas perenes”, aliado à degradação dos solos em áreas com menor cobertura vegetal. Estas duas condições provocam o aumento do albedo das superfícies sujeitas à degradação.

Por outro lado, DA COSTA (2001) também observa que a dinâmica do uso da terra na Caatinga, ao utilizar de modo não sustentável os recursos madeireiros, vem provocando perda da diversidade florística e contínua degradação do solo, estando intimamente relacionados a presença de processos desertificatórios na região de Seridó, no Rio Grande do Norte. O autor, então, propõe um método para o mapeamento da fitomassa da Caatinga, baseando-se no índice de Área de Planta e no Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI).

3.2. SISTEMAS DE GEOINFORMAÇÃO

CALHEIROS (2000), afirma que “o desenvolvimento econômico-tecnológico, responsável pela aceleração de problemas e induzido pela avalanche de dados e informações espaciais, necessita e permite o uso constante de tecnologias estruturadas em geoprocessamento. Com o Geoprocessamento e o Sensoriamento

Remoto, este desenvolvimento adquiriu novo perfil, tornando-se viável a manipulação do grande volume de dados disponíveis, tratados por diferentes procedimentos computacionais, levando a utilização de tecnologias que propiciam a análise integrada e georreferenciada dos fenômenos ambientais”.

3.3. DESERTIFICAÇÃO

Segundo SAMPAIO (2002), o Brasil ratificou a definição oficial de desertificação estabelecida pela Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação, adotando que: “A desertificação deve ser entendida como a degradação da terra nas zonas áridas, semi-áridas e sub-úmidas, resultante de vários fatores, incluindo as variações climáticas e as atividades humanas”. O texto da Convenção também define que a desertificação pode ocorrer em função da degradação da terra, das zonas climáticas específicas e dos fatores resultantes de processos antrópicos, podendo se manifestar em qualquer parte do planeta, com exceção das zonas polares e subpolares, sendo tecnicamente estabelecido uma razão entre a precipitação anual e a evapotranspiração potencial compreendida entre 0,05 e 0,65 (SAMPAIO, 2002).

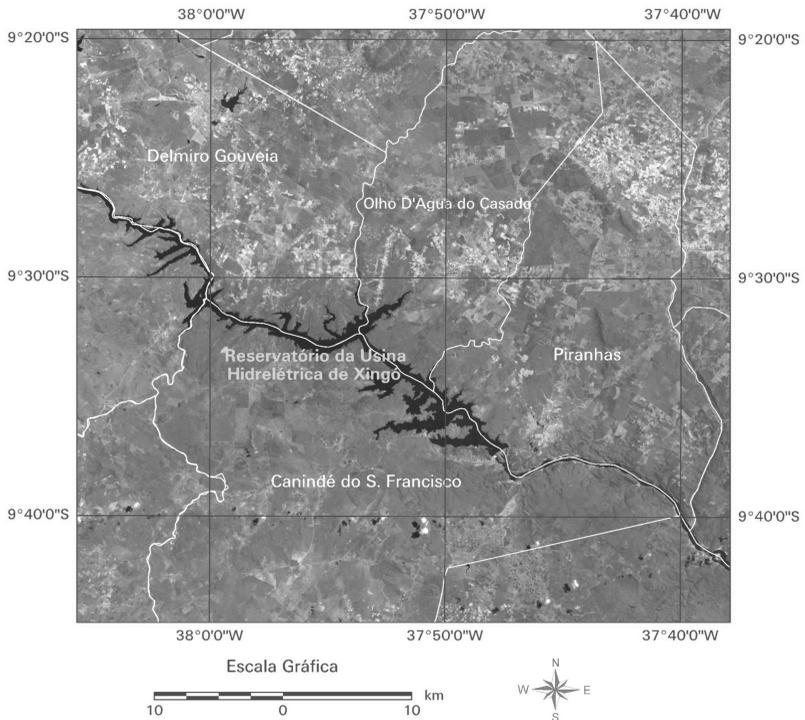
ANDRADE (1999) diz que o grau de aridez de uma região para outra é muito variável, “havendo aquelas classificadas como hiper-áridas, onde a umidade é muito baixa durante todo ano” e outras consideradas apenas áridas com chuvas esporádicas e, ainda, outras áreas semi-áridas, “quando a estação úmida é curta, de três a quatro meses por ano, permitindo o desenvolvimento de culturas de ciclo vegetativo curto”, sendo esta a característica primordial da Região de Xingó, como se verifica nos índices pluviométricos registrados ao longo dos últimos 20 anos (CPTEC/INPE, 2002). Assim, o período cronológico objeto desta pesquisa, face à disponibilidade de imagens satelitais para estudos ambientais, está restrito ao período compreendido entre o final da década de 1980 até 2001.

Entretanto, convém observar que “a aridez ou a semi-aridez, não tornam estas terras improdutivas, apesar da pobreza dos solos em matéria orgânica, uma vez que os mesmos podem ser enriquecidos com adubos orgânicos ou podem ser irrigados” (ANDRADE, 1999), como ocorre em diversos países do mundo.

O Nordeste brasileiro tem 80% de sua extensão classificada como semi-árida, possuindo cerca de 34 milhões de hectares com Caatinga e expandindo-se pelos nove estados que compõem a região (REIS, 1984). Os restantes 20% são formados, basicamente, pela mata Atlântica, cerrados e zonas de coqueirais. “A Caatinga, seu principal componente, além de rigorosamente atingida pela seca, sofre um processo de devastação provocado pelo próprio homem”. Portanto, as tecnologias que

permitam mapear os processos desertificatórios reveste-se de fundamental importância para a proteção das áreas naturais ainda existentes e, também, para a recuperação de áreas degradadas do meio ambiente.

FIGURA 03 – IMAGEM LANDSAT ETM7 DA ÁREA DE ESTUDO



4. METODOLOGIA DA PESQUISA

4.1. MARCO TEÓRICO

Aprofundamento dos estudos bibliográficos referentes aos temas de processamento digital de imagens de satélite ambientais, Sistemas de Geoinformação aplicado aos recursos naturais e análises sócio-econômicas, e desertificação.

4.2. ABORDAGEM DO PROBLEMA

Área de estudo: a Região de Xingó que abrange 34 municípios distribuídos entre os estados de Alagoas, Bahia, Pernambuco e Sergipe, correspondendo a uma área aproximada de 45.000 km², cortada pelo rio São Francisco. Esta área de abrangência abriga uma população estimada em 623.000 habitantes (IBGE, 1996), onde se situa o complexo de hidroelétricas de Paulo Afonso, Itaparica e, mais recentemente, Xingó (1994) – todas pertencentes a CHESF – Companhia Hidroelétrica do São Francisco. Uma área piloto foi escolhida para o estudo de caso (Figura 03).

4.3. DEFINIÇÃO DA METODOLOGIA A SER ADOTADA

Datas das imagens (Quadro 01), dados a serem coletados, modelos matemáticos e computacionais, elaboração do modelo conceitual do SIG.

QUADRO 1 – DADOS DE AQUISIÇÃO DAS IMAGENS LANDSAT EM ESTUDO

Data	WRS	Sensor	Média Mensal Pluviométrica (mm) na Região de Xingó
11 - 03 - 1989	215 - 067	TM 5	141,172
06 - 10 - 1995	215 - 067	TM 5	2,354
07 - 05 - 2001	215 - 067	ETM 7	17,966
22 - 10 - 2001	215 - 067	TM 5	47,375

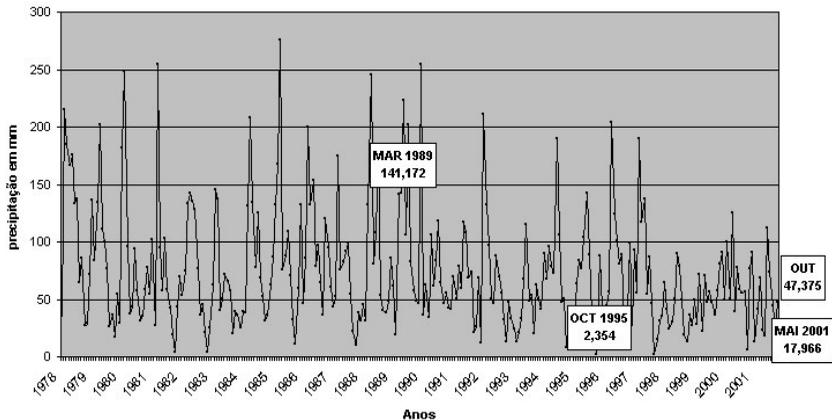
4.4. COLETA, ANÁLISE E PROCESSAMENTO DOS DADOS

Coleta: requisição de imagens ao INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), médias mensais de precipitação pluviométrica na região de 1978 a 2001 (Figura 04) junto ao CPTEC/INPE (Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos do INPE), documentos cartográficos analógicos (IBGE, DSG/Exército Brasileiro), dados descritivos (IBGE, PNUD – Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento), reconhecimento em campo de assinaturas espectrais com localização de pontos amostrais a partir de receptor GPS.

Análise: quanto à qualidade dos dados (eliminação dos erros grosseiros, modelagem matemática dos erros sistemáticos e parametrização dos erros randômicos), resolução temporal das imagens *versus* condições ambientais da área em estudo, e modelos computacionais a serem adotados.

Processamento: georrefrenciamento das imagens satelitais, classificação supervisionada das imagens, vetorização de temas geográficos das cartas analógicas, modelagem e carga de dados no banco de dados relacionais descritivos, implementação dos aplicativos em SIG, geração de mapas temáticos.

FIGURA 04 – GRÁFICO DAS MÉDIAS MENSAIS DE PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA NA REGIÃO DE XINGÓ – 1978 A 2001



Fonte: CPTEC/INPE (2002).

4.5. ANÁLISE DA METODOLOGIA UTILIZADA E DOS RESULTADOS OBTIDOS

Verificação de resultados computacionais obtidos de acordo com a metodologia utilizada, comparação com estudos bibliográficos já publicados, quantificação e qualificação de áreas críticas.

4.6. PUBLICAÇÃO DOS RESULTADOS

Redação da metodologia utilizada, recursos tecnológicos empregados, parâmetros conceituais, impressão e plotagem de mapas e imagens da área de estudo.

5. CONCLUSÃO

Ao término da pesquisa, esperam-se os seguintes resultados:

Identificação, através de cartas-imagem da área de estudo, das áreas de criticidade ambiental com relação aos processos desertificatórios;

Recomendações, com base na bibliografia consultada e nos resultados obtidos, de linhas de ações que favoreçam o combate aos processos desertificatórios observados;

Desenvolvimento de um Sistema de Geoinformações para uso dos pesquisadores e bolsistas do Instituto Xingó, referentes aos dados ambientais, espectrais e descritivos da área de estudo;

Publicação dos dados e análises espaciais obtidos com a pesquisa.

6. REFERÊNCIAS

ACCIOLY, LUCIANO JOSÉ DE OLIVEIRA. Avaliação de Mudanças no Albedo do Núcleo de Desertificação do Seridó através de Imagens do Landsat TM.

In: X SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, Foz do Iguaçu, 2001, p. 549-556. **Anais**.

ANDRADE, MANUEL CORREIA DE. **A Problemática da Seca**. Líber Gráfica e Editora, 1999. 97p.

ARONOF, S. **Geographic information system: a Management Perspective**. Canadá: WDL Publications, 1989.

BONHAM-CARTER, G. F. **Geographic information system for geoscientists: modelling with GIS**. London: Methuen, 1997.

BURROUGH, P.A. **Principles of geographical information systems for land resources assessment**. Oxford: Oxford University Press. 194p. (monographs on Soil and resources Survey, 12), 1998.

CALHEIROS, S. **Turismo versus Agricultura no Litoral Meridional Alagoano**. Rio de Janeiro, 2000. Tese (Doutorado em Geoprocessamento). LAGEOP – Laboratório de Geoprocessamento Aplicado. Universidade Federal do Rio de Janeiro.

DA COSTA, THOMAZ CORRÊA E CASTRO. Mapeamento da Fitomassa da Caatinga do Núcleo de Desertificação do Seridó, pelo Índice de Área Plantada (IAP)

e o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI), obtido com dados do Sensor Landsat 7 TM.

In: X SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, Foz do Iguaçu, 2001, p. 1563-1573. **Anais**.

DESERTIFICAÇÃO. Organizado por Celso Salatino Schenkel e Heitor Matallo Junior. Brasília, DF: UNESCO, 1999.

MALDONADO, FRANCISCO DARÍO. Rotação Espectral Controlada como alternativa em Análise por Componentes Principais para detecção de mudanças em regiões do semi-árido.

In: X SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, Foz do Iguaçu, 2001, p. 627-630. **Anais**.

NEW OPPORTUNITIES FOR DEVELOPMENT – THE DESERTIFICATION CONVENTION. Relatório do Banco Mundial. Estados Unidos, 1998.

PONZONI, FLÁVIO JORGE. Comportamento Espectral da Vegetação.

In: MENESES, P. R., NETTO, J. S. M. **SENSORIAMENTO REMOTO – REFLECTÂNCIA DOS ALVOS NATURAIS**. Brasília, DF: UnB; Planaltina: Embrapa Cerrados, 2001. 262p.

KAZMIERCZAK, MARCOS LEANDRO. Desenvolvimento de um Algoritmo para modelar a suscetibilidade de Desertificação no Nordeste Brasileiro: Algoritmo ISD.

In: X SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, Foz do Iguaçu, 2001, p. 1675-1691. **Anais**.

REIS, MAURO SILVA. Conservação dos Ecossistemas do Nordeste Brasileiro.

In: I SIMPÓSIO SOBRE CAATINGA E SUA EXPLORAÇÃO RACIONAL: Feira de Santana, BA: 1989. Embrapa-DDT. 361p. **Anais**.

SACHS, I. **Estratégias de Transição para o Século XXI**. São Paulo: Studio Nobel, 1993.

SAMPAIO, EVERARDO; SAMPAIO, YONY. **Desertificação – Conceitos, causas, conseqüências e mensuração**. UFPE, UFRPE, FINEP – Recife, PE: 2002. 85p.

SISTEMAS DE INFORMACIÓN AMBIENTAL EN LOS PROGRAMAS DE ACCIÓN NACIONAL PARA LA LUCHA CONTRA LA DESERTIFICACIÓN.

PNUD – Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento. New York, EUA, 1999.

7. AGRADECIMENTOS

Ao Corpo Docente da Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, Nível Mestrado, do Departamento de Engenharia Cartográfica da Universidade Federal de Pernambuco, em especial à Profa. Dra. Verônica Costa Romão, pelo apoio contínuo à pesquisa científica, e ao Prof. Dr. Admilson da Penha Pacheco, orientador acadêmico; ao INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – que, através do CPTEC – Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos – forneceu as imagens e os dados necessários à realização da pesquisa; e ao Instituto de Desenvolvimento Científico e Tecnológico de Xingó que, através do GeoXingó – Laboratório de Geoprocessamento de Xingó – possibilitou as pesquisas de campo na vasta região em estudo, na pessoa do Eng. Cartógrafo Helder Gama que trouxe uma valiosa contribuição ao processamento e análise dos dados.

IDENTIFICAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DE ERROS PLANIMÉTRICOS EM EDIFICAÇÕES REPRESENTADAS EM IMAGENS LASERSCANNING

Daniel Rodrigues dos Santos
Italo Cavascim Junior
Jorge Silva Centeno
Quintino Dalmolin

Universidade Federal do Paraná – {ddsantos;italo;centeno;dalmolin}@geoc.ufpr.br

RESUMO

O sistema Laserscanner é uma tecnologia emergente de grande importância na aquisição de dados tridimensionais. Este sistema determina pontos tridimensionais sobre a superfície do terreno, bem como sobre as elevações nela contidas podendo gerar em forma digital o MDT (Modelo Digital do Terreno) e o MNE (Modelo Numérico de Elevações). Existem dois tipos de modos de medidas, isto é, medidas por pulso e medidas por diferença de fase. As imagens laserscanning não podem ser utilizadas na restituição de edificações (objetos de maior interesse para as aplicações tais como planejamento urbano, restituição entre outras), pois o apresentadas pelo mesmo. Este trabalho apresenta uma metodologia que identifica e quantifica automaticamente os erros planimétricos apresentados em imagens laserscanning, bem como as diferenças de medidas entre o primeiro e último retorno do pulso. O objetivo desse estudo é permitir uma avaliação do uso destes dados não apenas como mais uma informação para a geração de produtos cartográficos, mas também como uma ferramenta para mapeamento direto de informações planimétricas (por exemplo, restituição de edificações).

Palavras-chave: Laserscanner; Erros Planimétricos; Avaliação de Erros.

ABSTRACT

The Laserscanner system is a recently developed technological used to 3D data acquisition. This system provides XYZ co-ordinates on terrain surface (DTM-Digital Terrain Model) and also on elevations points, like trees and buildings (DSM-

Digital Surface Model). There are two difference modes to measure runtime, first pulse and last pulse. These measures have difference of position. As the Laserscanner presents position errors is not possible the use of laserscanning image to direct measure to some applications. The aim this work present a methodology that identify, quantify and evaluation position errors in laserscanning image and also present the differences between first pulse and last pulse.

Keywords: Laserscanner; Planimetric Errors; Evaluation

1. INTRODUÇÃO

O sistema Laserscanner é uma tecnologia emergente de grande importância na aquisição de dados tridimensionais, principalmente para reconhecimento e reconstrução de edificações em ambientes urbanos.

Este sistema determina pontos tridimensionais sobre a superfície do terreno, bem como sobre as elevações nela contidas podendo gerar em forma digital o MDT (Modelo Digital do Terreno) e o MNE (Modelo Numérico de Elevações). O MDT trata dos pontos que representam o terreno, enquanto o MNE trata dos pontos que representam as elevações contidas na superfície (Tomaselli e Santos, 2000).

O Laserscanner utiliza um sistema de varredura ótico-mecânico para medir a distância entre o sensor e o objeto iluminado através da emissão e recepção de pulsos laser. Existem dois tipos de modos de medidas, isto é, medidas por pulso e medidas por diferença de fase. Muito dos sistemas disponíveis utilizam sistemas de medida por pulso possibilitando a medida do tempo de emissão e recepção em dois diferentes modos, ou seja, primeiro e último retorno do pulso.

As imagens laserscanning não podem ser utilizadas na restituição de edificações (objetos de maior interesse para as aplicações tais como planejamento urbano, restituição entre outras), pois o apresentadas pelo mesmo.

Muitos autores procuram determinar o deslocamento entre as faixas de vôo provocadas por falhas no conjunto do sistema, para solução dos problemas de correspondência (Burman, 2000; Maas, 2000; Maas 2001). Porém, em aplicações como planejamento urbano, cadastro entre outros é necessário a informação confiável dos objetos. De acordo com Vosselmen e Maas (2001), erros apresentados em planimetria são muitas vezes maiores que erros em altimetria, considerando imagens laserscanning.

Sendo as edificações os objetos de maior interesse para as aplicações citadas acima, produtos que dependem da modelagem confiável desses objetos, tais como, geração de ortofoto digital para projetos urbanos, ainda não podem ser utilizados na restituição direta dos mesmos, quando utilizado imagens laserscanning.

Este trabalho apresenta uma metodologia que identifica e quantifica automaticamente os erros planimétricos apresentados em imagens laserscanning, bem como as diferenças de medidas entre o primeiro e último retorno do pulso. O objetivo desse estudo é permitir uma avaliação do uso destes dados não apenas como mais uma informação para a geração de produtos cartográficos, mas também como uma ferramenta para mapeamento direto de informações planimétricas (por exemplo, restituição de edificações).

2. AQUISIÇÃO DE IMAGENS LASERSCANNING

No contexto deste trabalho a apresentação do sistema Laserscanner é restrita ao sistema aerotransportado com o modo de medida de pulsos. Estes sistemas possuem sensores ativos baseados na medida de distâncias para adquirir informações sobre a superfície e as elevações nela contidas.

Este tipo de varredura a laser emite pulsos em intervalos de tempo exatos. O sistema mede o tempo entre a emissão e recepção do pulso e através da equação expressa em (01) computa a distância entre a aeronave e o objeto refletido.

$$\Delta d = \frac{v}{\Delta t} \quad (01)$$

Onde,

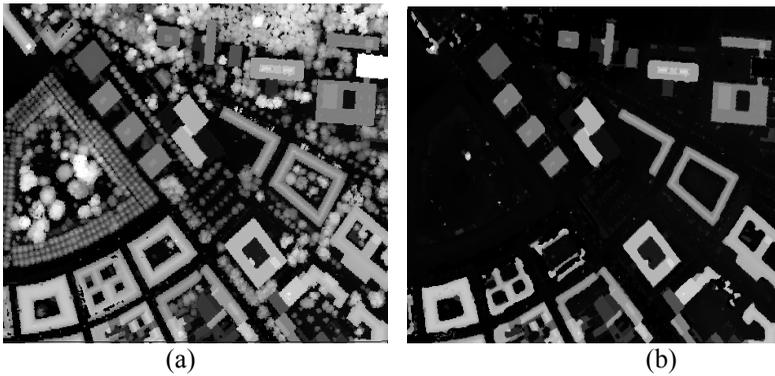
- ✓ Δd : distância entre a aeronave e o objeto;
- ✓ Δt : tempo entre a emissão e reflexão do pulso; e
- ✓ v : velocidade da aeronave.

Como o sistema é composto por um GPS (*Global Positioning System*), Sistema de Medição Inercial (SMI) e laser, os pontos refletidos da superfície podem ser determinados tridimensionalmente. Com isto, é realizado um processo de quantização (8 ou 11 bits) dos dados obtendo-se uma imagem em tons de cinza.

3. MODOS DE MEDIDAS DOS PULSOS

Sistemas que trabalham com modos de medidas por pulsos são capazes de separar o primeiro e último retorno do pulso emitido (figura 1). O pulsos emitidos possuem uma característica de divergência à medida que os mesmos se propagam no ar formando o diâmetro do pulso. Dentro deste diâmetro vários objetos podem ser refletidos e o pulso é dividido em diferentes partes (figura 1).

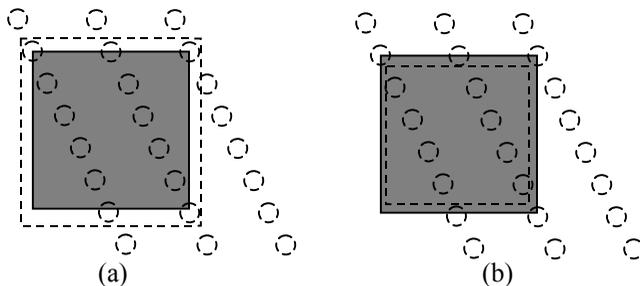
FIGURA 1 – IMAGENS LASERSCANNING. (A) RETORNO DO PRIMEIRO PULSO; (B) RETORNO DO SEGUNDO PULSO



Pode-se verificar visualmente que o retorno do primeiro pulso apresenta tanto informações de vegetação como de edificações. O retorno do último pulso apresenta apenas as informações das edificações. As edificações são apresentadas em ambas imagens (figura 1a e 1b), pois tanto o retorno do primeiro quanto do último pulso representarão o topo da edificação.

Outro efeito que pode ser verificado é a diferença de tamanho entre as edificações comparando-se os dois tipos de retorno. De acordo com Steinle (2000), as edificações representadas pelo primeiro retorno do pulso são maiores que as representadas pelo último retorno (figura 2).

FIGURA 2 – EFEITOS NOS TAMANHOS DOS OBJETOS. (A) CONTORNO DA EDIFICAÇÃO CONSIDERANDO O PRIMEIRO RETORNO; (B) CONTORNO DA EDIFICAÇÃO CONSIDERANDO O ÚLTIMO RETORNO.



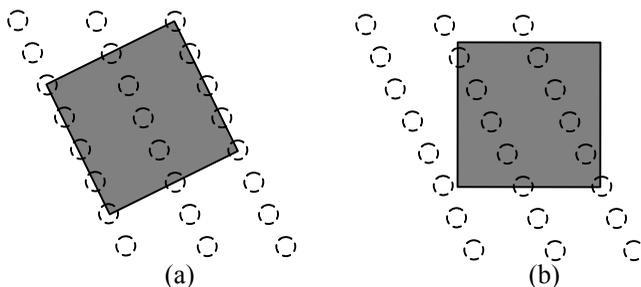
A figura 2 apresenta uma edificação no seu tamanho real (área preenchida), sendo a mesma representada pelo primeiro retorno do pulso (figura 2a, área tracejada) e último retorno do pulso (figura 2b). Um fator que implica no aumento e

diminuição da área da edificação é o tipo de sistema de varredura (Steinle, 2000), bem como a orientação da varredura (Volsseman e Maas, 2001).

4. QUANTIFICAÇÃO DA DIFERENÇA DE TAMANHO ENTRE OS OBJETOS DO PRIMEIRO E ÚLTIMO RETORNO DO PULSO

Como descrito anteriormente existe uma diferença entre o tamanho dos objetos representados pelo primeiro e último pulso. Volsseman e Maas (2001), afirmam que a orientação do objeto em relação à orientação da varredura do sistema é um dos fatores desse erro, sendo o erro maior apresentado em bordas perpendiculares ou paralelas à orientação de varredura (figura 3a). A figura 3 mostra um exemplo de varredura com edificações com duas orientações diferentes.

FIGURA 3 – ORIENTAÇÃO DAS EDIFICAÇÕES. (A) EDIFICAÇÃO COM BORDA PARALELA AO SENTIDO DE VARREDURA; (B) BORDA DA EDIFICAÇÃO COM ORIENTAÇÃO NÃO PARALELA.



Uma das propostas deste trabalho é quantificar automaticamente as diferenças de tamanho entre os objetos representados na imagem laserscanning considerando o primeiro e último retorno do pulso. Para a realização desta tarefa utilizou-se um algoritmo de subtração de imagens aplicado em morfologia matemática (erosão-dilatação) para a eliminação da vegetação representada na imagem do primeiro retorno do pulso.

De acordo com Facon (1996), a erosão de um sinal (função) f por um elemento estruturante g é:

$$e^g(f(x)) = \text{Min}\{f(y) - g(x, y) : y \in E\} \quad (02)$$

Onde,

- ✓ f : função e análise;
- ✓ g : elemento estruturante centrado em x ; e

✓ y : ponto relevante de g .

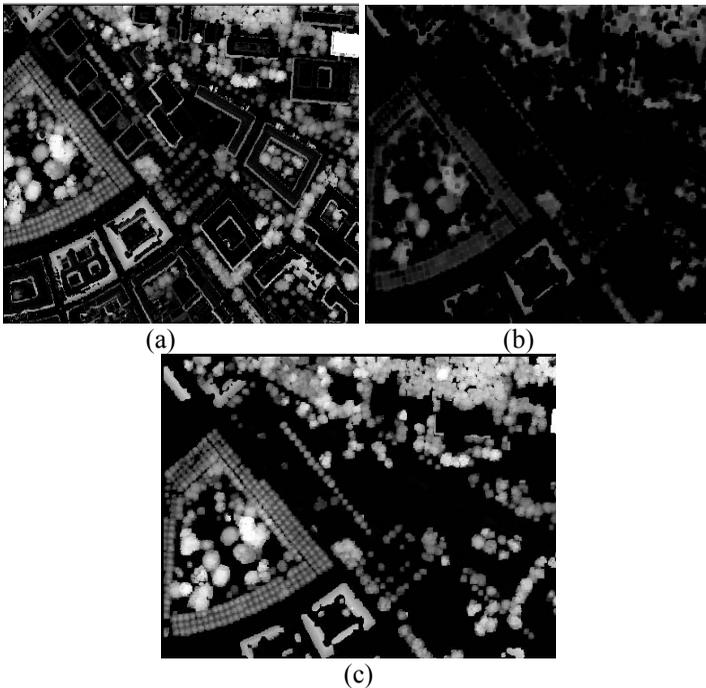
A dilatação de um sinal (função) f por um elemento estruturante g é:

$$e^g(f(x)) = \text{Max}\{f(y) - g(x, y) : y \in E\} \quad (03)$$

Sendo que a dilatação em níveis de cinza de f por g consiste em verificar se o elemento estruturante centrado em x está acima da função f , não sendo definida em um ponto onde o elemento estruturante estiver abaixo da função.

A figura 4 mostra a imagem laserscanning do primeiro retorno do pulso após aplicados os operadores de erosão e dilatação. As imagens utilizadas para este experimentos foram fornecidas pela Universidade de karlsruhe/Alemanha.

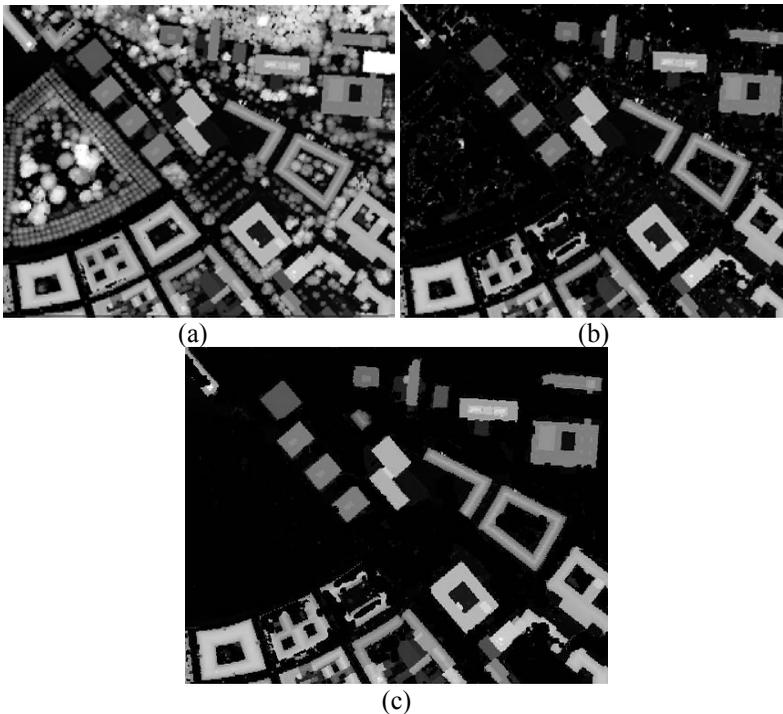
FIGURA 4 – IMAGEM LASERSCANNING. (A) SUBTRAÇÃO DAS IMAGENS DO PRIMEIRO E ÚLTIMO RETORNO DO PULSO; (B) OPERAÇÃO DE EROSIÃO APLICADA NA IMAGEM SUBTRAÍDA; (C) OPERAÇÃO DE DILATAÇÃO APLICADA NA IMAGEM.



Verifica-se visualmente na figura 4a que, o resultado da operação de subtração entre as imagens não apresentou apenas a informação de vegetação, mas também as bordas dadas pela diferença entre as edificações (bordas de divergência).

Para a eliminação da vegetação apresentada na imagem do primeiro retorno do pulso foi aplicado uma subtração entre a mesma (figura 5a) e a imagem da figura 4c. A figura 5b mostra o resultado obtido da operação de subtração entre as duas imagens e a figura 5c apresenta as edificações do primeiro retorno após uma nova aplicação dos operadores de erosão e dilatação para eliminação dos ruídos da vegetação presentes na figura 5b.

FIGURA 5 – (A) PRIMEIRO RETORNO DO PULSO; (B) PRIMEIRO RETORNO DO PULSO SEM INFORMAÇÃO DA VEGTAÇÃO. (C) RUÍDOS DA VEGTAÇÃO ELIMINADOS.



Para a determinação da diferença de tamanho, bem como o deslocamento entre os objetos, foi utilizado um modelo onde correções geométricas e radiométricas são realizadas a priori e incluídas no Método dos Mínimos Quadrados (MMQ), se necessário (Agouris e Schenk, 1998).

Neste modelo, as correções radiométricas e geométricas não são necessariamente incluídas no problema. A técnica dos Mínimos Quadrados estabelece uma correspondência entre os pixels, minimizando a diferença dos valores de cinza. A minimização dos valores de cinza é dada pela diferença entre a imagem de referência (primeiro retorno do pulso- $g_e(x_e, y_e)$) e a imagem de pesquisa (último retorno do pulso- $g_d(x_d, y_d)$), tendo como objetivo a nova localização da imagem de pesquisa estimada ($e(x,y)$):

$$e(x, y) = g_e(x_e, y_e) - g_d(x_d, y_d) \quad (04)$$

Para Agouris e Schenk (1998), a estimação é dada por uma transformação de coordenadas, seguida de uma reamostragem dos valores de cinza correspondentes.

$$\begin{aligned} x_d &= ax_e + by_e + \Delta x \\ y_d &= cx_e + dy_e + \Delta y \end{aligned} \quad (05)$$

Onde,

- ✓ a, b, c, d: parâmetros da transformação;
- ✓ $\Delta x, \Delta y$: elementos de translação;

Linearizando o modelo expresso na equação (05), pois deve-se considerar as rotações, escala e translação implícitas no modelo, temos:

$$g_e(x_e, y_e) - e(x, y) = g_d^0(x_d^0, y_d^0) \quad (06)$$

$$g_e(x_e, y_e) - e(x, y) = g_d^0(x_d^0, y_d^0) + g_{dx} dx_d + g_{dy} dy_d \quad (07)$$

Onde,

- ✓ g_{dx} : gradiente na direção x da imagem de referência; e
- ✓ g_{dy} : gradiente na direção y da imagem de referência.

Pela diferenciação e substituição dos parâmetros de transformação afim a equação (07) torna-se:

$$\begin{aligned} g_e(x_e, y_e) &= g_d^0(x_d^0, y_d^0) + g_{dx} da + g_{dx} x_e db + \\ &g_{dx} y_e d\Delta x + g_{dy} dc + g_{dy} x_e dd + g_{dy} y_e d\Delta y \end{aligned} \quad (08)$$

A matriz A , é montada em função das derivadas parciais dos parâmetros $da db d\Delta x dc dd d\Delta y$ (parâmetros de transformação afim). Os parâmetros são determinados através do MMQ, baseado no princípio de que a soma dos quadrados dos resíduos é mínima. O modelo matemático NO no Método Paramétrico dado por (Gemael, 1994):

$$X = (A^t P A)^{-1} A^t P L \quad (09)$$

$$L = g_e(x_e, y_e) - g_d^0(x_d^0, y_d^0) \quad (10)$$

A composição da matriz A depende do modelo funcional adotado:

$$A = \left. \frac{\partial F}{\partial X_a} \right|_{X_0} \quad (11)$$

E a matriz peso (P) definida por:

$$P = \sigma_0^2 \sum_{l_b}^{-1} \quad (12)$$

Sendo,

- ✓ σ_0^2 : variância da unidade de peso a priori;
- ✓ $\sum_{l_b}^{-1}$: matriz covariância dos valores observados.

$$\Sigma_L = \begin{bmatrix} \sigma_1^2 & & & & \\ & \sigma_2^2 & & & \\ & & \ddots & & \\ & & & \ddots & \\ & & & & \sigma_n^2 \end{bmatrix} \quad (13)$$

Como o processo é iterativo, após a primeira iteração é necessário atribuir os valores de cinza (reamostrados) para a nova janela de pesquisa. A tabela 1 mostra os valores dos parâmetros da transformação.

TABELA 1 – PARÂMETROS DE TRANSFORMAÇÃO.

Parâmetros de Transformação (pixel)						
iteração	a	b	Δx	c	d	Δy
1	1.001	-0.008	0.653	-0.004	0.998	1.458
2	0.999	-0.013	1.472	0.003	0.990	2.617
3	0.989	-0.006	2.227	0.008	0.983	3.753
4	0.977	0.010	2.804	0.011	0.977	4.868
5	0.973	0.019	3.294	0.015	0.971	5.812
6	0.979	0.011	3.924	0.024	0.955	6.734
7	0.984	0.010	3.792	0.030	0.946	7.076

De acordo com os dados apresentados na tabela 1, é verificado um deslocamento na imagem de 3.792 pixels em x e 7.076 pixels em y . De acordo com os resultados apresentados pelos parâmetros a , b , c , d , verifica-se que existe uma pequena rotação entre os eixos e uma pequena influência de escala. Com a análise realizada quantificou-se um deslocamento entre as imagens do primeiro e último retorno do pulso, porém foi quantificado um escalamento de pouca influência, ou seja, a diferença de tamanho entre os objetos é insignificante. Porém, é necessário realizar testes com imagens laserscanning conhecendo-se os parâmetros de resolução, escala etc para se ter um fundamento mais concreto dos resultados obtidos.

5. IDENTIFICAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DE ERROS PLANIMÉTRICOS

De acordo com Steinle (2000), as dimensões das edificações representadas em imagens do primeiro retorno do pulso são as que mais se aproximam da realidade do objeto no terreno. Como um dos objetivos deste trabalho é quantificar os erros planimétricos considerando edificações representadas em imagens laserscanning, para a determinação das resultantes dos resíduos foram comparados dados do primeiro retorno do pulso com uma base cartográfica, ambas com mesma escala (figura 6).

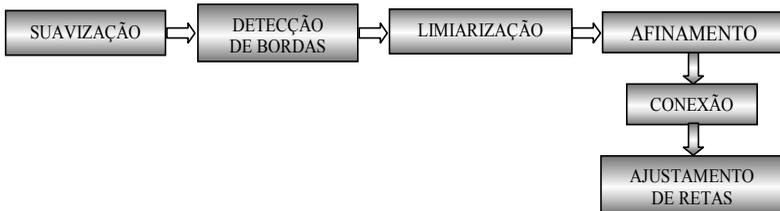
Os dados do primeiro retorno do pulso possuem uma resolução de 1m x 1m e com escala 1:6000. A imagem do primeiro retorno do pulso de uma área teste de calibração da Esteio Engenharia e Aerolevantamentos S.A. e a base cartográfica cedida pelo convênio IPUC/COPEL/PARANÁ CIDADE. A figura 6 mostra a imagem do primeiro retorno do pulso utilizada no experimento.

FIGURA 6 – PRIMEIRO RETORNO DO PULSO.



Para obter-se as resultantes dos resíduos foram coletados manualmente e automaticamente os pontos dos cantos das edificações na imagem do primeiro retorno do pulso e da base cartográfica. Para as medidas automáticas foi utilizado um fluxo de extração de feições retas (Tommaselli, 1999; Artero, 1999). A figura 7 apresenta o fluxo utilizado para extração de feições retas.

FIGURA 7 – FLUXO PARA EXTRAÇÃO DE FEIÇÕES RETAS



O algoritmo busca as retas correspondentes na base cartográfica por meio de uma descrição relacional envolvendo ângulos, comprimento e posicionamento. Feita a busca é realizado o cálculo da diferença de coordenadas entre os cantos das edificações. Para pontos que o algoritmo não encontra correspondência é realizada a busca manualmente.

A tabela 2 apresenta os resíduos de alguns pontos, bem como a média e o desvio-padrão dos desvios. Uma análise de tendência também foi realizada, considerando $\alpha=5\%$ e 100 pontos medidos.

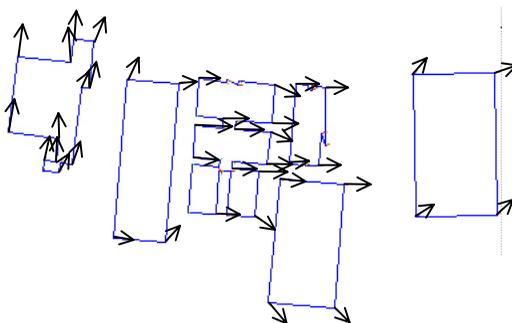
TABELA 2 – RESÍDUOS, MÉDIA E DEVIOS-PADRÃO DOS RESÍDUOS.

Resíduos			
E (m)		N (m)	
0.000000		0.000000	
0.000000		0.000000	
1.481500		0.384400	
1.851900		-2.961000	
1.111100		-2.590900	
2.963000		-1.850600	
\bar{m}_x	σ_x	\bar{m}_y	σ_y
1.770142	1.782987	0.085671	1.111229
t Student $t_{(100,5\%)}$	t_E amostral	t_N amostral	
1.660	1.590	1.673	

A tabela 2 mostra que os resultados do primeiro retorno do pulso comparados com uma base cartográfica apresenta diferenças com média de 1.77 m em E e 0.08 m em N (planimetria).

Como $t_E < t_{(100,5\%)}$ conclui-se que não existe tendência na direção do eixo E, porém $t_N > t_{(100,5\%)}$ mostrando uma ligeira tendência no eixo N. A figura 8 apresenta as resultantes dos resíduos de alguns pontos obtidos.

FIGURA 8 – RESULTANTE DOS RESÍDUOS.



Analisando a figura 8 verifica-se visualmente que, os erros planimétricos decorrentes das edificações na imagem laserscanning são ligeiramente sistemáticos, podendo ser corrigidos com uso de modelos de transformação.

Steinle (2000), utilizando uma comparação manual entre as coordenadas de uma imagem laserscanning e uma base cartográfica obteve desvios-padrão na ordem de ± 0.2 m à ± 0.9 m em planimetria. O experimento realizado mostra resultados na ordem de ± 1.11 m à ± 1.77 m. Isto pode ser explicado por três fatores:

- ✓ Os pontos serem computados automaticamente através da ferramenta de extração de feições retas;
- ✓ Base cartográfica utilizada não ser confiável; e
- ✓ A calibração do sistema Laserscanner não foi realizada.

A calibração do sistema é um processo bastante complexo, sendo totalmente intrínseca à tarefa prática.

Uma análise mais detalhada poderia ser realizada, mas a base cartográfica disponível está desatualizada, não contendo o mapeamento das edificações em toda área teste da imagem laserscanning.

6. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos na quantificação dos erros entre o primeiro e segundo retorno do pulso mostraram que existe uma diferença entre ambas informações, sendo indevido o uso da informação do segundo retorno do pulso para fins de medidas. O mesmo pode ser utilizado como informação adicional para a imagem do primeiro retorno com a finalidade de: eliminar objetos (por exemplo, árvores) que atrapalham o processo de automação; e auxiliar na reconstrução de edificações (primeiro retorno do pulso) obstruídas pela vegetação.

Os resíduos calculados mostraram que coordenadas em N apresentam erros menores, porém tendenciosos. As resultantes dos resíduos mostram que a imagem laserscanning possui erros sistemáticos em planimetria. Isto deixa claro que a mesma pode ser modelada facilmente com uso de algum modelo de transformação.

O processo de identificação e quantificação de erros planimétricos apresentou resultados piores que os encontrados por Steinle (2000). Portanto, a falta de dados confiáveis para a análise dos resultados ainda não permite admitir imagens laserscanning como informações para mapeamento direto de objetos presentes nas imagens. Porém Steinle (2000), apresenta resultados mais favoráveis indicando o uso de seu potencial como apoio em aplicações tal como planejamento urbano.

7. REFERÊNCIAS

ARTERO, A. O., **Técnicas para a extração automática de feições retas em imagens digitais**. Dissertação de Mestrado –Universidade Estadual Paulista, FCT, Presidente Prudente, pp. 117, 1999.

GEMAEL, C., **Introdução ao ajustamento de observações: aplicações geodésicas**. Curitiba, Editora UFPR, pp. 314, 1994.

TOMMASELLI, A. M. G., **Extração automática de feições lineares em imagens digitais para aplicações cartográficas**. Relatório de bolsa de produtividade em pesquisa CnPq, pp. 41, 1999.

TOMMASELLI, A. M. G.; SANTOS, D. R., **Uma estratégia para extração semi-automática de feições com análise do MNE**. Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico e Multifinalitário, pp. 10, 2000.

AGOURIS, P.; SCHENK, T., **Multiple Image Matching**. 1998.

FACON, J. **Morfologia Matemática: Teoria e Exemplos**. Editora Universitária Champagnat da Pontifícia Universidade Católica do Paraná - Curitiba, pp. 360, 1996.

STEINLE, E.; VOGTLE, T., **Effects of difference laser scanning modes on the results of buildings recognition and reconstruction**. IAPRS, vol. XXXIII, part B3, pp. 858-865, Amsterdam, 2000.

BURMAN, H., **Adjustment of laserscanner data for correction of orientation errors**. In: IAPRS, vol. 33, part B3/1, pp. 125-132, 2000.

VOSSSELMAN, G.; MAAS, H. G., **Adjustment and filtering of raw laser altimetry data**. In: Proceedings OEEPE workshop on Airbone Laserscaning and Interferometric SAR for Detailed Digital Elevation Models, n. 40, pp. 62-72, 2001.

GUIA ELETRÔNICO: MOSAICO DE IMAGENS PARA FINS DE VISUALIZAÇÃO

Danilo Moreno de Alencar¹
Messias Meneguette Junior²

1 Universidade Estadual Paulista – danilo@prudente.unesp.br

2 Universidade Estadual Paulista – messias@prudente.unesp.br

RESUMO

Em muitos dos problemas ligados à engenharia existe a necessidade de se ter um módulo que faça a emenda de imagens, criando na verdade, um mosaico que vai gerar uma nova imagem, junção de duas ou mais imagens. Claramente, fotos tomadas de posições diferentes e que produzem escalas diferentes, exigem maior cuidado matemático. Ao se fazer a emenda de imagens, na região da junção poderá haver disparidade geométrica das feições, bem como diferença de tonalidades. Deve-se então fazer o tratamento adequado das principais feições e tonalidades nesta região. Para tanto, são utilizadas transformações globais e ajustes locais, abrangendo conceitos de *warping* e *morphing*. A linha de emenda pode ser uma reta, vertical ou oblíqua, uma curva qualquer, uma poligonal ou até mesmo um tipo específico de fractal. Na região de junção das imagens aplica-se um *merging* para correção e interpolação de tonalidades. Na seqüência deste trabalho, a ênfase será na questão da precisão métrica das imagens, fator de grande importância para a área de cartografia. Após a conclusão deste módulo é que o guia eletrônico será implementado.

Palavras-chave: Mosaico de Imagens; Guia Eletrônico; Transformações Globais

ABSTRACT

Engineering application in many cases need a tool for mosaicing images. Clearly photos taken from different positions impose certain mathematical care. At the region of junction there can be geometric disparity of the features as well as the tonality. It is then necessary to treat them as adequate as possible. This is done by using global and local transforms and concepts of warping and morphing. The line which defines that region can be chosen as a straight line vertical or not, an ordinary curve, a polygonal and even an adequate fractal. Along this line a merging is carried out in order to correct and interpolate the tonalities. The manual continuation of the present

work, it is to deal with the metric precision which is essential to the cartographic area. The sequence then is to finalize the eletronic guide.

Keywords: Mosaic of Images; Eletronic Guide; Global Transformations

1. INTRODUÇÃO

1.1. APRESENTAÇÃO

Em um guia eletrônico as informações são disponibilizadas por páginas, mas em vários casos a informação de interesse pode ser encontrada na fronteira de uma página, tendo continuidade em outra página. Assim, depara-se com a necessidade de se juntar estas duas páginas para uma melhor visualização da informação que se deseja. Esta emenda - ou junção - é feita com a coleta de pontos homólogos nas duas imagens. No geral, a imagem secundária é sobreposta à imagem primária.

Ao juntar as imagens, deve-se também fazer o tratamento adequado das principais feições e tonalidades presentes nas regiões limite entre as duas imagens. O mosaico é obtido por meio de transformações planas, rotação global e transformação de escala. A finalização do processo é obtida por “ajustes” locais na região de junção, onde são utilizadas transformações warping para correção geométrica e para colagem das feições, e merging para correção e interpolação das tonalidades.

2. DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

O maior problema no processo de mosaicagem está relacionado às diferenças geométricas e à diferença de tonalidades entre as imagens. Para o tratamento geométrico, são utilizadas transformações globais para a correção de escala, rotação e translação. Um outro problema encontrado é quando uma imagem sofre ampliação, podendo, ao final do processo, causar “buracos” na figura. Isto é resolvido por interpolação bilinear. Para o tratamento das tonalidades é utilizado a interpolação de tonalidades na região de emenda e correção global de tonalidades.

2.1. DEFINIÇÃO DOS PONTOS HOMÓLOGOS

Para a realização da emenda das iamgens, é necessário a definição dos pontos homólogos. Um aspecto de muita influência na qualidade do resultado final é a precisão na coleta desses pontos. Quanto melhor distribuídos estiverem os pontos na região de sobreposição, melhor será a reconstrução da imagem resultante, pois pontos muito concentrados acabam atendendo apenas a região que os envolve, podendo ocorrer distorções em outras partes da imagem. Quanto mais pontos

coletados, melhor será o ajustamento dos parâmetros da transformação envolvida, ajustamento este feito pelo método dos mínimos quadrados.

2.2. GEOMETRIA DA EMENDA NAS IMAGENS

A emenda pode ser determinada de tres formas: por uma reta vertical ou oblíqua, por poligonal ou por curvas. A utilização de dois pontos quaisquer, coletados na região de sobreposição da imagem a ser transformada, são suficientes para o processo de emenda por reta. Na emenda por poligonal é feita a coleta de pontos na região de sobreposição, referentes aos vértices do polígono. Da mesma forma para a emenda por curvas, na qual os pontos coletados definirão a função determinante da curva.

FIGURA 01 – EXEMPLO DA EMENDA POR RETA OBLÍQUA

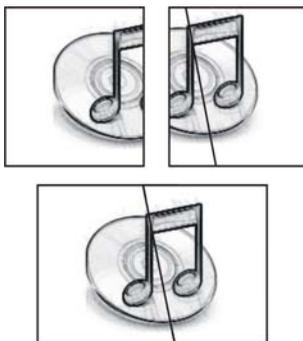
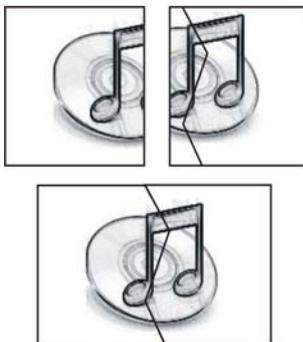


FIGURA 01 – EXEMPLO DA EMENDA POR POLÍGONO



No caso da emenda por reta oblíqua, há uma restrição quanto a sua declinação: sua obliquidade deve ser de tal forma que as suas extremidades façam limite com as margens superior e inferior da imagem na área de sobreposição.

2.3. ORGANOGRAMA DO PROCEDIMENTO



3. TRANSFORMAÇÕES GLOBAIS

Essas transformações modificam a posição dos pontos no espaço, preservando os elementos lineares.

3.1. TRANSFORMAÇÃO AFIM

Seja p um ponto aleatório no plano, com coordenadas (x_p, y_p) no sistema s e (X_p, Y_p) no sistema S , a transformação afim inversa é dada pela equação 01:

$$\begin{bmatrix} X_p \\ Y_p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a & b \\ d & e \end{bmatrix}^{-1} * \begin{bmatrix} x_p - c \\ y_p - f \end{bmatrix} \quad (01)$$

Onde as incógnitas a, b, c, d, e, f são os parâmetros correspondentes aos dois fatores de translação, dois fatores de escala, um fator de rotação e um fator de não-ortogonalidade dos eixos de referência. E podem ser calculadas a partir da equação 02.

$$[a \ b \ c \ d \ e \ f]^t = A^{-1} * \begin{bmatrix} \sum X_p * x_p \\ \sum Y_p * x_p \\ \sum x_p \\ \sum X_p * y_p \\ \sum Y_p * y_p \\ \sum y_p \end{bmatrix} \quad (02)$$

Sendo que a matriz A é dada pela equação 03 e que o símbolo \sum representa a somatória com o índice p variando de 1 ao número total de pontos (n).

$$A = \begin{bmatrix} \sum X_p^2 & \sum X_p * Y_p & \sum X_p & 0 & 0 & 0 \\ \sum X_p * Y_p & \sum Y_p^2 & \sum Y_p & 0 & 0 & 0 \\ \sum X_p & \sum Y_p & n & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \sum X_p^2 & \sum X_p * Y_p & \sum X_p \\ 0 & 0 & 0 & \sum X_p * Y_p & \sum Y_p^2 & \sum Y_p \\ 0 & 0 & 0 & \frac{n}{\sum X_p} & \frac{n}{\sum Y_p} & n \end{bmatrix} \quad (03)$$

3.2. TRANSFORMAÇÃO PROJETIVA

Seguindo a mesma condição imposta para a transformação afim: sendo p um ponto aleatório no plano, com coordenadas (x_p, y_p) no sistema s e (X_p, Y_p) no sistema S, pode-se escrever a transformação projetiva pelas equações 04.

$$X_p = \frac{a1 * x_p + b1 * y_p + c1}{a3 * x_p + b3 * y_p + 1} \quad (04)$$

$$Y_p = \frac{a2 * x_p + b2 * y_p + c2}{a3 * x_p + b3 * y_p + 1}$$

Onde os parâmetros dessa transformação que relacionam os dois sistemas envolvidos são $a1, a2, a3, b1, b2, b3, c1$ e $c2$, representados pelo vetor dos parâmetros ajustados x_a (05).

$$x_a = [a1 \ b1 \ c1 \ a2 \ b2 \ c2 \ a3 \ b3]^t \quad (05)$$

Com o modelo matemático (04) é não-linear em relação aos parâmetros é necessário que se faça iterações. Para a resolução deste sistema, utiliza-se o método paramétrico com iteração.

4. INTERPOLAÇÃO BILINEAR

Essa técnica de interpolação é utilizada para atribuir um valor a pixels de uma imagem que, após sofrer uma transformação, passa a ter pontos sem valores, caracterizados visivelmente por “buracos” na imagem.

Com a interpolação bilinear obtém-se a cor de um pixel não definido, usando o cálculo das médias que é aplicado entre as linhas e colunas da imagem.

Uma imagem após sofrer uma transformação é representada da seguinte forma:

$$\begin{array}{ccc} g(i, j) & 0 & g(i, j+1) \\ 0 & 0 & 0 \\ g(i+1, j) & 0 & g(i+1, j+1) \end{array}$$

Onde $g(i,j)$ são pixels da imagem e os valores 0 representam os “buracos”. Com a aplicação da interpolação bilinear temos:

$$\begin{array}{ccc} g(i, j) & \frac{g(i, j)+g(i, j+1)}{2} & g(i, j+1) \\ \frac{g(i, j)+g(i+1, j)}{2} & \frac{g(i, j)+g(i, j+1)+g(i+1, j)+g(i+1, j+1)}{4} & \frac{g(i, j+1)+g(i+1, j+1)}{2} \\ g(i+1, j) & \frac{g(i+1, j)+g(i+1, j+1)}{2} & g(i+1, j+1) \end{array}$$

5. CORREÇÃO DE TONALIDADES

A correção de tonalidades é aplicada na região de emenda da imagem e segue como modelo o seguinte algoritmo:

Para l variando de *limite_superior_imagem* até *limite_inferior_imagem* faça

auxiliar ← $2 * n$

Para c variando de (*pixel_emenda* - n) até (*pixel_emenda* + ($n - 1$)) faça

pixel_resultante ← (*tonalidade_pixel_img_secundária*[c, l] * ($2 * n - auxiliar$) + *tonalidade_pixel_img_base*[c, l] * *auxiliar*) / ($2 * n$)

auxiliar ← *auxiliar* - 1

Fim

Fim

Onde l , c e *auxiliar* são variáveis auxiliares. A variável n define o limite dos pixels que sofrerão a interpolação de tonalidade.

6. CONCLUSÃO

A utilização da transformação Afim (6 parâmetros), exige um número mínimo de 3 pontos coletados para resolução do sistema e, para haver um ajustamento dos parâmetros de transformação, 4 ou mais pontos devem ser coletados. Já a transformação Projetiva, que envolve um total de 8 parâmetros, um mínimo de 4 pontos deve ser coletados para a resolução do sistema e 5 ou mais pontos para haver um ajustamento nos parâmetros. Testes preliminares indicam resultados mais precisos em comparação com os resultados obtidos com a transformada Afim. Com a utilização de 8 parâmetros pela transformação projetiva, os processos computacionais envolvidos são mais complexos em comparação com a transformação Afim, utilizando um maior tempo de processo computacional.

Para a correção de tonalidades na região de emenda, foram utilizadas duas imagens de 400X400 pixels. Testes indicam que o valor de $n = 20$ para definição do limite de pixels é recomendado.

7. REFERÊNCIAS

ARRUDA JUNIOR, E. R. **Mosaicagem de imagens digitais**. Presidente Prudente, 2002. 92 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas). Departamento de Engenharia Cartográfica. Universidade Estadual Paulista.

SOUSA, F. S.; MENEGUETTE, M. Warping entre imagens e sua aplicação à visualização de superfícies topográficas.

In: CONGRESSO NACIONAL DE MATEMÁTICA APLICADA E COMPUTACIONAL, 12., São Carlos. **Anais...** São Carlos: SBMAC, 2000, pág. 485-500.

GALO, M. **Calibração e Aplicação de Câmaras Digitais**. Curitiba, 1993. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas). Universidade Federal do Paraná.

GEMAEL, C. **Introdução ao ajustamento de observações: aplicações geodésicas**. ed. UPFR, Curitiba, 1994.

GOMES, J. e VELHO, L. **Computação gráfica: imagem**. Rio de Janeiro : IMPA/SBM, 1994.

8. AGRADECIMENTOS

À FAPESP pelo suporte financeiro e pela bolsa de Iniciação Científica.

PARÂMETROS DE DISTORÇÃO CAUSADA PELA ESCALA E NÃO-ORTOGONALIDADE ENTRE EIXOS NUMA CÂMARA DIGITAL: ESTUDO DE CASO

Francisco Rogério Ribeiro da Silva¹
Jorge Antonio Silva Centeno²
Edson Aparecido Mitishita³

- 1 Centro de Hidrografia da Marinha – frrs67@terra.com.br
- 2 Universidade Federal do Paraná – centeno@geoc.ufpr.br
- 3 Universidade Federal do Paraná – mitishit@geoc.ufpr.br

RESUMO

O uso de imagens digitais em aplicações fotogramétricas tem crescido muito, em especial a partir de meados da década de 80, quando começaram a surgir as primeiras câmaras de vídeo baseadas em tecnologia de estado sólido, além da popularização dos computadores, com preços menores e pequenas dimensões.

Para utilizar uma câmara digital de vídeo não-métrica, ela deve primeiro ser calibrada. A calibração é um procedimento que visa a determinar os parâmetros que modelam os efeitos dos erros sistemáticos causados pela distorção radial simétrica e também pela distorção descentrada. Pode-se dizer que a calibração é um caso especial da aerotriangulação, já que o objetivo principal não é determinar coordenadas de pontos fotoidentificáveis, mas sim calcular parâmetros que permitam compensar e até mesmo eliminar os erros sistemáticos, possibilitando a restauração das condições de colinearidade.

Em fevereiro de 2002 conduziu-se um experimento de calibração de uma câmara de vídeo comum, para que se pudesse usar a mesma para fins videogramétricos. O método usado para a calibração foi o das Câmaras Convergentes, empregado principalmente para o uso de câmaras terrestres. Após o ajustamento ser realizado com todos os parâmetros, verificou-se que alguns parâmetros apresentaram-se como não-significativos, ou seja, seus desvios-padrão foram maiores que os valores ajustados. Os seguintes parâmetros foram não-significativos: K_1 ; K_2 ; K_3 ; e B . Mais dois ajustamentos foram realizados, retirando-se parâmetros da distorção radial que seriam mais significativos, sem sucesso. Enfim, um quarto ajustamento foi realizado, desta vez sem os parâmetros K_3 e B , resultando em que todos os parâmetros de calibração se tornassem significativos.

Este trabalho tem por objetivo analisar um caso de parametrização de distorções de uma câmara de vídeo, em especial os erros de escala e não-ortogonalidade dos eixos, usando imagens capturadas para um computador pessoal por um dispositivo de captura.

Palavras-chave: Ciências Geodésicas; Calibração; Erros Sistemáticos; Videogrametria.

ABSTRACT

The usage of digital imagery in photogrammetric applications has grown increasingly, specially from the middle 80's, when the first solid state-based video cameras came out, as well as the popularization of computers, with smaller prices and dimensions. Using a non-metric digital video camera implies that it must be calibrated. Calibration is a procedure that aims to determine parameters to model the effects of systematic errors caused by radial symmetric distortion, as well as the discentered distortion. One might say that calibration is a special aerotriangulation case, for the main purpose is not to figure up photo-identifiable points' coordinates, but to calculate parameters to compensate and even eliminate systematic errors, thus restauring colinearity conditions.

In February 2002 a calibration experiment was conducted using a common digital video camera, so that it could be used for photogrammetric purposes. Calibration method used was Converging Cameras, mostly employed for terrestrial cameras. After a bundle adjustment with all parameters, some of them were non-significant, which means their standard deviations were greater than their adjusted values. The following parameters were non-significant: K_1 ; K_2 ; K_3 ; and B . Two more adjustments were taken, withdrawing radial distortion parameters that would be more significant, but no success. Finally, a fourth adjustment was taken, this time without parameters K_3 and B , resulting that all remaining parameters became significant.

This work aims to analyse a case of digital video camera distortions modelling, especially scale and non-orthogonality axis errors, using images obtained by that equipment, but captured into a personal computer by an image capture device, which alters pixel's dimensions and spatial resolution.

Keywords: Geodetic Science; Calibration; Systematic Errors, Videography.

1. INTRODUÇÃO

O uso de imagens digitais em aplicações fotogramétricas tem crescido muito, em especial a partir de meados da década de 80, quando começaram a surgir as primeiras câmaras de vídeo baseadas em tecnologia de estado sólido, além da popularização dos computadores, com preços menores e pequenas dimensões. O avanço da tecnologia permite capturar imagens de vídeo diretamente para o microcomputador, através de dispositivos de captura, que, por sua vez, apresenta crescente capacidade de processamento de informações, com igual rapidez. Imagens geradas por sensores comuns, não-métricos, como câmaras de vídeo digitais populares, têm se tornado cada vez mais aceitas, principalmente pelo baixo custo do sensor. Infelizmente, a resolução geométrica das câmaras de vídeo comum ainda não torna dispensável uma câmara métrica, mas alguns trabalhos apresentam precisões consideráveis, indicando que talvez dentro de uma década a câmara de vídeo comum possa se tornar um sensor competitivo. Este trabalho tem por objetivo analisar um caso de parametrização de distorções de uma câmara de vídeo, em especial os erros de escala e não-ortogonalidade dos eixos, usando imagens obtidas por aquele equipamento, mas capturadas para um computador pessoal por um dispositivo de captura, que altera as dimensões dos pixels e a resolução geométrica.

1.1. BREVÍSSIMA REVISÃO

MONIWA (1977) demonstrou a necessidade de uso de parâmetros para modelar erros de escala e não-ortogonalidade entre eixos, advindos das diferenças de tamanhos entre pixels de uma mesma matriz de sensores (CCD – Charged-Coupled Device – Dispositivo Acoplado de Carga), bem como da falta de ortogonalidade entre os lados desta. Os parâmetros são modelados conforme as equações (01), vistas a seguir:

$$\begin{aligned}\delta_x &= A \cdot (x_f - x_0) \\ \delta_y &= B \cdot (x_f - x_0)\end{aligned}\tag{01}$$

onde

- δ_x é a distorção em fotocoordenadas, para o eixo x;
- δ_y é a distorção em fotocoordenadas, para o eixo y;
- A é o parâmetro de distorção para o eixo x;
- B é o parâmetro de distorção para o eixo y; e
- $(x_f - x_0)$ representa a coordenada fotogramétrica xP de um ponto qualquer.

O leitor deve ter notado a repetição do fator $(x_f - x_0)$, em ambas as fórmulas, ou seja, tanto para as fotocoordenadas em x , quanto para as fotocoordenadas em y . Tal se dá pelo fato de um dos eixos ser tomado como referência para a ortogonalidade, mas as diferenças de tamanho de pixels, em especial de equipamentos cujos CCD tenham pixels de tamanho retangular, afetam ambas as fotocoordenadas.

Entretanto, um dispositivo de captura de imagem que converta os sinais de uma câmara de vídeo digital — a fim de permitir seu processamento digital por um microcomputador pessoal —, permitirá ao seu usuário escolher entre alguns formatos que mantêm uma proporção de 4:3. Isso significa que o pixel, anteriormente de dimensões retangulares, passa a ter lados iguais, tornando-se um quadrado. Alguns dispositivos oferecem ainda dimensões que não mantêm a proporção acima descrita, como por exemplo um formato 704 x 480, mas ainda assim transformam os pixels de retangulares para quadrados. Neste estudo foi utilizado o formato de 640x480 pixels.

2. EXPERIMENTO EFETUADO

Em fevereiro de 2002 conduziu-se um experimento de calibração de uma câmara de vídeo comum, modelo JVC GR-DVF10U, visto na figura 1, para que se pudesse usar a mesma para fins videogramétricos.

FIGURA 1 – CÂMARA DE VÍDEO JVC GR-DVF10U



O método utilizado para a Calibração foi o chamado “Câmaras Convergentes”, também chamado de *SELF-CALIBRATION*, ou autocalibração (OLIVAS, 1980). Para mais métodos e modelos de calibração, ver JAIN, KASTURI e SCHUNCK (1995), ANDRADE e OLIVAS (1981), e GALO (1993).

Foram tiradas onze fotos de um campo de calibração situado na parede externa do bloco VI do Centro Politécnico da Universidade Federal do Paraná (UFPR), situado em Curitiba-PR, visto na figura 2.

FIGURA 2 – ESQUEMA DE ALVOS NO CAMPO DE CALIBRAÇÃO



As onze fotos foram obtidas da seguinte maneira: duas sem rotação (posição normal de uso da câmara), uma perpendicular à parede, e outra com uma inclinação de 45° ; três com a câmara rotacionada de 90° no sentido horário, uma perpendicular e duas com inclinações de 45° , positiva e negativa; três com a câmara rotacionada de 180° , uma perpendicular e duas com inclinações de 45° , positiva e negativa; e três com a câmara rotacionada de 90° no sentido anti-horário, uma perpendicular e duas com inclinações de 45° , positiva e negativa. Com isso, procurou-se obter dez parâmetros de calibração da câmara, a saber:

- (x_0, y_0) , coordenadas do centro perspectivo, no referencial fiducial;
- c , valor da distância focal;
- K_1, K_2 , e K_3 , coeficientes da distorção radial simétrica;
- P_1 e P_2 , coeficientes da distorção descentrada;
- A e B , coeficientes dos erros de escala e não-ortogonalidade entre os eixos.

Cada foto possuía doze pontos, cujas coordenadas foram determinadas através de interseção à vante. A matriz variância-covariância de determinação das coordenadas foi obtida através de propagação de covariâncias, tendo-se o erro de determinação da distância (base), bem como os erros de medição das direções, através do uso de teodolitos Leica T-105.

Sendo assim, o vetor de parâmetros ajustados é dado conforme se pode ver na equação 02.

$$X_a^T = \begin{bmatrix} \kappa_1 & \varphi_1 & \omega_1 & X_{0_1} & Y_{0_1} & Z_{0_1} & \cdots & \kappa_n & \varphi_n & \omega_n & X_{0_n} & Y_{0_n} & Z_{0_n} & \cdots \\ X_1 & Y_1 & Z_1 & \cdots & X_m & Y_m & Z_m & x_0 & y_0 & c & K_1 & K_2 & K_3 & P_1 & P_2 & A & B \end{bmatrix} \quad (02)$$

para n fotos e m pontos do espaço-objeto (GALO; HASEGAWA; TOMMASELLI, 2000). O vetor X_a vem das seguintes operações matriciais, descritas pelo conjunto de equações 03:

$$\begin{aligned} L &= L_0 - L_b \\ N &= A^T \cdot P \cdot A \\ U &= A^T \cdot P \cdot L \\ X &= -N^{-1} \cdot U \\ V &= A \cdot X + L \\ X_a &= X_0 + X \end{aligned} \quad (03)$$

onde:

- L_0 é o vetor de valores das observações calculados com os parâmetros aproximados;
- L_b é o vetor de valores observados;
- P é a matriz dos pesos;
- X_0 é o vetor de valores dos parâmetros aproximados ou ajustados na i -ésima iteração;
- X é o vetor de correções ao vetor X_0 ;
- V é o vetor de resíduos das observações;
- X_a é o vetor de parâmetros ajustados; e
- A é a matriz de derivadas parciais da função utilizada como modelo matemático, definida pelos valores em X_0 , conforme se verifica na equação 04.

$$\left. \frac{\partial F}{\partial X} \right|_{X_0} \quad (04)$$

Com efeito, ao se usarem as onze fotos, foram obtidas 131 leituras, ou seja, 264 coordenadas, contra 112 parâmetros. Como a calibração é um caso particular da

aerotriangulação, mesmo com graus de liberdade suficientes para permitir uma análise estatística de resultados com um ajustamento, a matriz N é singular. Para conseguir torná-la inversível e resolver o ajustamento, é necessário estabelecer injunções (neste caso, de posição), a fim de fixar um plano referencial. Portanto, sabendo-se as precisões de determinação de cada ponto, foram aplicadas injunções a todos eles, somente sendo variáveis os parâmetros de orientação de cada foto e os parâmetros de calibração. Para maiores detalhes sobre o método paramétrico com injunções, ver ANDRADE e OLIVAS (1981).

GALO et al (2000) apresentaram um estudo sobre o comportamento do ponto principal, e concluíram que suas coordenadas apresentam variação, de acordo com o posicionamento da câmara. Para este estudo, o ponto principal foi considerado como não-variável.

3. RESULTADOS OBTIDOS

À tarefa de determinar os parâmetros da câmara juntou-se mais uma: a de determinar as coordenadas dos pontos do campo de calibração. Tal foi feito empregando-se o método conhecido por interseção avante. Com um pequeno programa desenvolvido em MATLAB foi possível calcular com boa acurácia as coordenadas dos doze pontos utilizados como referência, permitindo ao usuário usar um deles como origem — mesmo a origem tem variâncias propagadas. O programa calcula também, por propagação de covariâncias, os desvios-padrão de cada coordenada (X, Y, Z) obtida. A tabela 1 mostra os resultados calculados.

TABELA 1 – COORDENADAS DO CAMPO DE CALIBRAÇÃO E PRECISÕES

Ponto	X (m)	Y (m)	Z (m)	σ_x (m)	σ_y (m)	σ_z (m)
1	-1,0035	3,1522	0,0670	4,826E-04	1,385E-03	7,000E-03
2	-0,0029	3,1517	-0,0026	5,812E-04	1,384E-03	7,032E-03
3	0,9921	3,1507	-0,0662	9,956E-04	1,384E-03	7,063E-03
4	1,9904	3,1506	-0,1337	1,482E-03	1,386E-03	7,096E-03
5	-0,9891	1,5787	0,0661	4,801E-04	6,064E-04	7,000E-03
6	0,0074	1,5798	-0,0011	5,845E-04	6,077E-04	7,031E-03
7	1,0070	1,5820	-0,0705	1,003E-03	6,106E-04	7,065E-03
8	1,9876	1,5815	-0,1374	1,481E-03	6,132E-04	7,098E-03
9	-0,9931	-0,0030	0,0663	4,808E-04	4,555E-04	7,000E-03
10	0	0	0	5,821E-04	4,556E-04	7,031E-03
11	0,9973	-0,0047	-0,0677	9,980E-04	4,600E-04	7,063E-03
12	1,9946	-0,0017	-0,1364	1,485E-03	4,627E-04	7,097E-03

Após o ajustamento ser realizado com todos os parâmetros, verificou-se que alguns parâmetros apresentaram-se como não-significativos, ou seja, seus desvios-padrão foram maiores que os valores ajustados. Num primeiro ajustamento, os seguintes parâmetros foram não significativos: K_1 ; K_2 ; K_3 ; e B . Tentou-se, então, retirar os parâmetros menos significativos, começando pelo coeficiente K_3 , que modela as frequências mais altas da distorção radial simétrica. Um segundo ajustamento foi realizado, sem K_3 , e foi observado que o parâmetro B continuou como não-significativo. Num terceiro ajustamento, também o coeficiente K_2 foi retirado, uma vez que o parâmetro que mais influi na correção da distorção radial simétrica é K_1 . Ainda assim, o parâmetro B continuou não-significativo. Enfim, um quarto ajustamento foi realizado, desta vez sem os parâmetros K_3 e B , resultando em que todos os parâmetros de calibração se tornassem significativos.

Os parâmetros da câmara podem ser vistos na tabela 2.

TABELA 2 – PARÂMETROS DE CALIBRAÇÃO DETERMINADOS

	Valor ajustado	Desvio-padrão
x_0	-0,24179mm	0,030426mm
y_0	0,083022mm	0,026785mm
c	6,8254mm	0,025885mm
K_1	$-1,2106 \cdot 10^{-3} \text{ mm}^{-2}$	$6,3887 \cdot 10^{-4}$
K_2	$-1,2034 \cdot 10^{-4} \text{ mm}^{-4}$	$9,1913 \cdot 10^{-5}$
P_1	$-5,1341 \cdot 10^{-4} \text{ mm}^{-2}$	$1,6573 \cdot 10^{-4}$
P_2	$2,904 \cdot 10^{-4} \text{ mm}^{-2}$	$1,6565 \cdot 10^{-4}$
A	$7,3281 \cdot 10^{-2}$	$5,4573 \cdot 10^{-4}$

FIGURA 3 – REPRESENTAÇÃO VETORIAL DA DISTORÇÃO RADIAL SIMÉTRICA

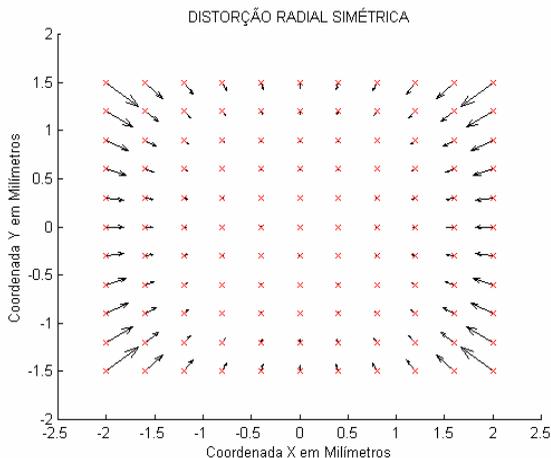


FIGURA 4 – REPRESENTAÇÃO VETORIAL DA DISTORÇÃO DESCENTRADA

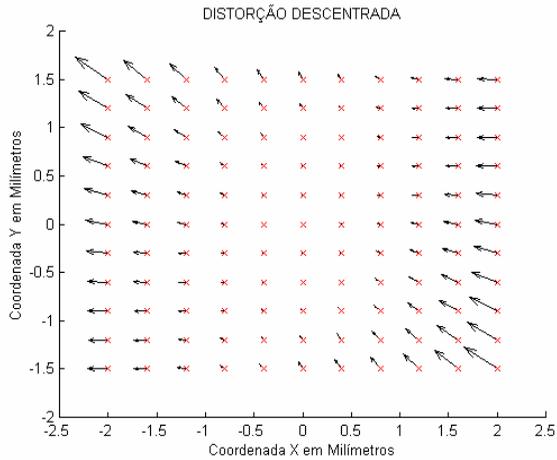
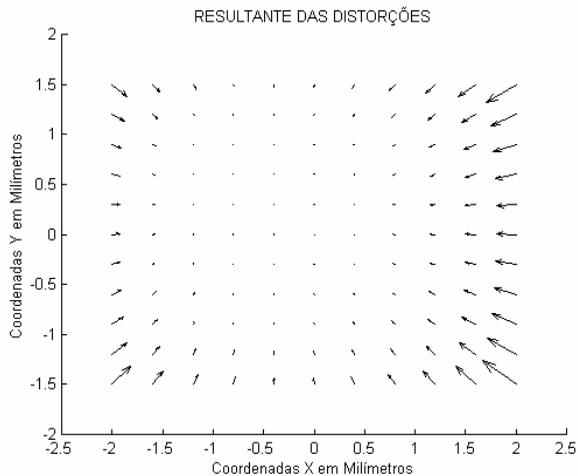


FIGURA 5 – REPRESENTAÇÃO VETORIAL DA RESULTANTE DAS DISTORÇÕES



4. CONCLUSÕES

Ao se calibrar uma câmara digital utilizando imagens que são capturadas por uma dispositivo que altera a forma dos pixels, na verdade calibrar-se-á o dispositivo de captura, para as distorções radial simétrica, descentrada e para os erros de escala

e não-ortogonalidade dos eixos. As coordenadas utilizadas como fiduciais são colhidas das imagens capturadas, e não diretamente da câmara de vídeo, ou seja, já se encontram com outro formato e resolução geométrica.

Como o dispositivo de captura redimensiona e rearranja os pixels numa matriz digital que não apresenta erros de ortogonalidade entre seus eixos, por não ser uma entidade virtual e sim digital, conclui-se que — para este caso — aquele dispositivo minimizou ou mesmo eliminou o erro de ortogonalidade entre os eixos. Permanece então a questão da manutenção do parâmetro A . Mesmo tendo sido eliminado o parâmetro B , o parâmetro A continuava a ser significativo. A resposta está no fato de que o dispositivo de captura redimensionou o tamanho dos pixels, tornando-os quadrados. Além disso, a resolução da câmara utilizada neste experimento é de 720 x 540 pixels (coluna x linha), entretanto, o dispositivo de captura de imagem a reduziu para 640 x 480 pixels, mantendo uma proporção de 4:3. Conclui-se, então, que o parâmetro A se mantém significativo porque o CCD do equipamento apresenta pixels retangulares, com maior dimensão no eixo x , tomado como referência para o cálculo dos parâmetros A e B . Ao ser transformado o pixel retangular em quadrado, uma distorção na imagem é introduzida pelo dispositivo de captura, que tenta compensá-la através da mudança de resolução. Como o pixel tem menor dimensão no eixo y , este não sofre tanto os efeitos da mudança de dimensões.

5. REFERÊNCIAS

ANDRADE, J. B.; OLIVAS, M. A. A. Calibração de câmaras aerofotogramétricas. **Boletim da Universidade Federal do Paraná**, Curitiba, n° 26, 1981.

GALO, M. **Calibração e aplicação de câmaras digitais**. Curitiba, 1993. 151 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas) – Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Universidade Federal do Paraná.

GALO, M.; HASEGAWA, J. K.; TOMMASELLI, A. M. G. Avaliação geométrica de câmaras de vídeo para uso em fotogrametria digital. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO, 2000, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis, Universidade Federal de Santa Catarina, 2000.

JAIN, R.; KASTURI, R.; SCHUNCK, B.G. **Machine Vision**. MIT Press and McGraw-Hill, Inc. 1995.

MONIWA, H. **Analytical photogrammetric system with self-calibration and its applications**. Ph. D. Thesis, Department of Surveying Engineering, UNB, 1977.

OLIVAS, M. A. A. **Calibração de câmaras fotogramétricas**. Curitiba, 1980. 97 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas) – Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Universidade Federal do Paraná.

6. BIBLIOGRAFIA

ANDRADE, J. B. **Fotogrametria**. Curitiba: SBBE, 1998.

BROWN, D. C. **An advanced reduction and calibration for photogrammetric cameras**. EUA: Instrument Corp of Florida, 1964.

BROWN, D. C. **Decentering distortion and the definitive calibration of metric cameras**. The American Society of Photogrammetry Convention, mar., 1965.

BROWN, D. C. Decentering distortion of lenses. **Photogrammetric Engineering**. v. 32, n. 3, 1966.

ESTEIO ENGENHARIA E AEROLEVANTAMENTOS S. A. **Aerotriangulação**. Disponível em <http://www.esteio.com.br/servicos/so_aerotriang.htm> Acesso em 14 out. 2002.

JVC Company of America. **Two high performance dv camcorders added to cybercam line**. Disponível em <<http://www.jvc.com/company/press.jsp?pressType=2&item=97>> Acesso em 17 out. 2002.

SPIRO, P. **Review of JVC miniDV GR-DV3 and GR-DVM5 digital camcorder**. Disponível em < <http://webhome.idirect.com/~spirop/dv3rev.htm>> Acesso em: 17 out. 2002.

7. AGRADECIMENTOS

À Marinha do Brasil, por todo o apoio logístico, sem o qual jamais teria sido possível realizar e concluir o mestrado do Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas (CPGCG).

Aos meus mestres, amigos e colegas do mestrado e doutorado do CPGCG, sem a ajuda e apoio dos quais seria impossível vencer uma das etapas mais difíceis e, ainda assim, mais gratificantes da minha vida.

À minha família, pela compreensão e força nos (raros) momentos de desânimo.

CORREÇÃO ATMOSFÉRICA: USO DE TÉCNICAS DE PROCESSAMENTO DIGITAL NA COMPARAÇÃO DE MAPAS TEMÁTICOS

Elvis Rabuske Hendges¹
Rogério Cassanta Rosado²
Rudiney Soares Perreira³

- 1 Universidade Federal de Santa Maria – elvis@mail.ufsm.br
- 2 Universidade Federal de Santa Maria – rogerio@mail.ufsm.br
- 3 Universidade Federal de Santa Maria – rudiney@smail.ufsm.br

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo principal realizar o estudo das técnicas de processamento digital de imagens, na microbacia de Arroio Grande localizado em uma área de transição entre o Planalto Meridional Brasileiro e a Depressão Central do Estado do Rio Grande do Sul. Para objetivar o estudo das características físicas das microbacias elaborou-se como modo de avaliação o mapa de uso da terra de toda a microbacia, elaborada a partir da imagem LANDSAT 7 com o auxílio do aplicativo Spring 3.6.03. Pode-se constatar que as técnicas de processamento digital de imagens são muito necessárias nas etapas da elaboração da carta de uso da terra. Além das correções atmosféricas, técnicas como o das componentes principais, de segmentação ou até a simples filtragem nas imagens originais adquiridas, mostraram-se significativas, e de grande auxílio na escolha das amostras para a fase de classificação. Como principal resultado, foram comparadas a pureza das amostras compostas pela área de treinamento na fase de pré-classificação supervisionada. As imagens com os processamentos digitais adequados mostraram em suas áreas de treinamento uma pureza de na média 99,06%, enquanto que as áreas de treinamento das imagens originais mostraram 98,18% de pureza. Apesar de também apresentar um valor aceitável, vale registrar que este valor é muito mais dependente da experiência do usuário na área de estudo, do que a facilidade em obter as amostras. Assim as técnicas de tratamento de imagem são importante não somente para a melhor visualização das imagens brutas, mas também para estudos subseqüentes de interesse humano.

Palavras-chave: Microbacia, Componentes Principais, Segmentação.

ABSTRACT

This work had as main objective to accomplish the study of the techniques of digital processing of images, in the Arroio grande micro-basins located in a transition area between the Brazilian Meridional Plateau and Rio Grande do Sul Central Depression. To the study of the characteristics physics of the micro-basins it was elaborated as evaluation way the map of use of the earth of the whole micro-basins, elaborated starting from the image LANDSAT 7 with the aid of the Spring 3.6.03 software. Can be verified that the of digital processing techniques of images are very necessary in the stages of the elaboration of the letter of use of the earth. Besides the atmospheric corrections, techniques as the one of the principals components, of the segmentation or to the simple filter in the acquired original images, they were shown significant, and of great aid in the choice of the samples for the classification phase. As main result, the purity of the samples composed by the area training in the supervised compared pre-classification phase. Where the images with the appropriate digital processing showed in its training areas a purity of in the average 99,06%, while the areas of training of the original images showed 98,18% of purity. In spite of also to present an acceptable value, it is worth to register that this value is much more dependent of the user's experience in the study area, that the easiness in obtaining the samples.

Keywords Micro-basins, principals Components, Segmentation.

1. INTRODUÇÃO

CONSIDERAÇÕES GERAIS

Os modelos de uso e ocupação da terra vem provocando alterações nos processos naturais através da urbanização, da industrialização, da destruição de florestas nativas e matas ciliares, da construção de drenagens de banhados, do uso com a agricultura e pecuária. Esses modelos de exploração da terra tem alterado os parâmetros ambientais trazendo riscos ao equilíbrio natural do ambiente, neste aspecto torna-se a cada dia mais importante o estudo e o gerenciamento do uso da terra, afim do controle e do melhor aproveitamento possível do solo. Em busca de um melhor mapeamento, desenvolveram-se em alguns aplicativos de tratamento de imagens, processos os quais tendem melhorar o mapa de uso da terra gerado pelos aplicativos.

As técnicas de processamento digital de imagens são conhecidas por utilizar imagens nos processos de entrada e gerarem outras imagens nos processos de saída, sendo essas tarefas executadas por um computador. Estas técnicas teriam surgido principalmente com a necessidade de se melhor definir a interpretação humana,

tendo ainda o objetivo de melhorar o aspecto visual de certas feições estruturais fornecendo subsídios anteriormente não encontrados para o analista humano.

Para a extração de dados com imagens multiespectrais aplicado ao estudo dos recursos naturais, empregam-se técnicas de processamento digital na geração de mapas de uso da terra. A comparação destes mapas de uso da terra se tornam muito relevantes, por isso a grande importância das técnicas de tratamento de imagens pois estas auxiliam numa melhor classificação e maior credibilidade deste uso da terra..

Para o estudo comparativo realizado na Microbacia do Arroio Grande, região central do Estado Rio Grande do Sul, utilizou-se o aplicativo Spring 3.6.03, incluindo as seguintes técnicas de processamento digital: técnicas de pré-processamento de imagens, cuja finalidade é corrigir degradações radiométricas e geométricas das imagens; realce de imagens, que permitem melhorar a qualidade visual da imagem; análise de imagem que entre outras operações, compreendem extração de informações da imagem que podem estar relacionadas com as propriedades de objeto tais como, posição, tamanho e formato.

2. ESTUDO BIBLIOGRÁFICO

2.1 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA

A microbacia hidrográfica do Arroio Grande situa-se em grande parte no município de Silveira Martins-RS e pertence a Bacia Hidrográfica do Rio Jacuí. Possui uma área de 281,93 km². Esta microbacia apresenta-se inserida geomorfologicamente no Planalto Meridional Brasileiro, Rebordo do Planalto e Depressão Periférica Sul-rio-grandense.

A unidade de relevo do Topo do Planalto Meridional Brasileiro abrange o setor norte da microbacia e situa-se em altitudes superiores a 400 metros. O Topo do Planalto é composto basicamente por rochas basálticas e areníticas, formado por sucessivos derrames de lavas da Era Mesozóica. Essa formação geológica faz com que tenhamos nessa área um compartimento com topografia suavemente ondulada, isso se deve a ocorrência de vulcanismo fissural ocorrido na Bacia do Paraná (MÜLLER FILHO 1970).

Um dos principais modeladores do relevo deste compartimento é sem dúvida a rede hidrográfica, sendo formada por uma densa malha de rios de primeira e segunda ordens de grandeza da hierarquia fluvial. Esses tributários esculturam o relevo lentamente devido ao seu leito rochoso. São basicamente coletores de águas onde seus padrões e a densidade de drenagem reflete o regime climático. O regime climático é constituído por precipitações regulares todo ano, com índices pluviométricos anuais entre 1.500 a 1.750 mm, sendo o resultado principal da passagem de Frentes Frias, e mais eventualmente pela formação de Frentes Quentes (NIMMER 1992).

Essa interação entre os padrões e a densidade de drenagem juntamente com o clima condiciona a localização e o tipo de vegetação da área, o que determinou a existência da vegetação campestre, que está associada a essa superfície fracamente ondulada, representada por espécies de gramíneas, de capões e mapas galerias, que tem influência direta nas decomposições do solo. Essa vegetação está sob forte ação antrópica por ser uma área favorável a exploração agrícola e criação de gado. A vegetação juntamente com o clima, influencia nas características dos solos que resultam de processos pedogenéticos ocorridos nas formações rochosas do Planalto.

Sendo o solo desta formação de origem basáltica, pode-se classificá-lo como uma boa área para o desenvolvimento da agricultura. Outro fator que contribui para cultivos anuais, que necessitam de um alto índice de luminosidade ao longo do dia, é a orientação das vertentes. Estas por sua vez recebem energia solar durante quase todo dia, devido as suas ondulações suaves e vertentes pouco inclinadas.

O Rebordo do Planalto Meridional Brasileiro, situado em uma faixa de transição entre o Planalto e Depressão Central Sul-Rio-Grandense, apresenta um desnível aproximado de 260 m. Este apresenta peculiaridades individuais, pois é testemunho da fase de evolução do Planalto Meridional Brasileiro.

As características do clima na atualidade fazem com que ocorram intensos trabalhos de dissecação fluvial, que juntamente com o intemperismo físico-químico, formam um conjunto de montanhas e vales. Segundo KLEIN & LEITE 1992, o fator climático determinou a presença da floresta Sub-Caducifólia Subtropical por existirem condições favoráveis ao seu desenvolvimento especialmente, as chuvas abundantes, a maior umidade do ar e os nevoeiros frequentes.

Essa vegetação protege as vertentes contra a erosão e lixiviação do solo. Porém, a mesma tem sofrido intensa devastação e por consequência, deixa de proteger solos férteis e intactos. Os agricultores nessa região, visando aumentar sua área agrícola, ainda devastam estas florestas para a prática da agricultura familiar.

A Depressão Central Sul-rio-grandense forma o mais baixo dos patamares dos três domínios morfogenéticos da microbacia. É constituído basicamente pelo acúmulo de sedimentos do Topo do Planalto, como também de seu rebordo através dos rios. Esses sedimentos são depositados nas planícies aluviais localizadas no sopé e várzeas das montanhas. O relevo possui ondulações suaves que contorna as áreas baixas o que facilita o surgimento de campos limpos, apresentando apenas áreas de capões e matas galeria.

2.2 PROCESSAMENTO DIGITAL

As imagens brutas, como são conhecidas imagens sem nenhum tipo de correção contém algumas distorções, que devem ser corrigidas antes de qualquer aplicação. As principais correções: correção radiométrica, que elimina os ruídos coerentes, os ruídos aleatórios restaurando sobre a imagem as falhas realçando as feições da

imagem original; correção geométrica, que corrige sobre as imagens a existência de distorções sistemática introduzidas nas imagens durante a sua aquisição.

As correções atmosféricas não são comumente utilizadas, mas não menos necessárias, pois a interferência da atmosfera na resposta de um alvo já é conhecida por duas formas. A absorção atmosférica subtrai valores de brilho de energia radiante do alvo, enquanto o espalhamento atmosférico adiciona valores à resposta original.

As técnicas de extração de propriedades das imagens como transformação de componentes principais, são baseadas nas propriedades estatísticas da imagem, contrariando assim as outras transformações, as quais são baseadas nas características físicas das cenas e experiência do usuário.

A segmentação é uma tarefa básica no processo de análise de imagens, onde o aplicativo computacional fraciona as regiões que devem corresponder às áreas de interesse da aplicação, ou seja, a tarefa é constituída por dividir a imagem em um número de regiões homogêneas, cada uma identificada pela detecção de bordas distinguindo-se as diferentes regiões.

No processo de classificação automática, o sistema computacional é capaz de produzir medidas de áreas mais precisas que o foto-intérprete, porque cada píxel é tratado isoladamente. A saída de um processo de classificação é um mapa temático; uns grandes números de níveis de cinza em diversas bandas espectrais são transformados em um pequeno número de classes em uma única imagem.

A confiança atribuída a esta transformação, encontra-se no processo de análise das amostras, onde quanto mais pura for a amostra (área de treinamento), mais confiável será a classificação.

3. METODOLOGIA

De posse dos limites da microbacia e dos arquivos vetoriais necessários para a elaboração dos mapas temáticos, aplicou-se técnicas de correção sobre as imagens do LANDSAT 7 nas bandas espectrais TM1, TM2, TM3, TM4 e TM5 (primeiro caso).

Posteriormente, também foi realizada a classificação supervisionada do uso da terra utilizando-se o algoritmo MAXVER e dados de imagem bruta sem a aplicação de técnicas de tratamento, (segundo caso).

A avaliação dos tratamentos digitais sobre os dados das imagens, foi obtida por comparação da carta de uso da terra do primeiro caso com a carta de uso da terra do segundo caso.

O primeiro tratamento digital realizado nas imagens brutas foi a da correção atmosférica, onde mesmo antes da importação das bandas espectrais do LANDSAT 7, estas foram submetidas a um processo de atenuação atmosférica.

Com a posterior importação das imagens no aplicativo Spring 3.6.03, foi efetuada a georeferência a fim de corrigir geometricamente as imagens, tanto as

imagens brutas, das bandas a serem analisadas, bem como das imagens sem a interferência da atmosfera.

Concluído a correção atmosférica e a importação destas imagens no programa computacional, passou-se por sobre as imagens um sistema de filtragem (filtros orbitais não lineares), onde os atributos espaciais são delimitados, como por exemplo o filtro *Sobel*, que define regiões a partir de padrões uniformes.

De posse de imagens derivativas de filtros, o processo de obtenção das componentes principais, deu-se com a entrada das imagens sem interferência atmosférica, e a obtenção de novas imagens, onde ao analisar a medida de variância conjunta (covariância), os valores mais distintos encontrados em duas bandas facilitaria o estudo dos padrões a ser analisados.

O processo digital, conhecido como segmentação, teve como princípio a delimitação das bordas de padrões espectrais distintos, esta técnica ajudaria o usuário na obtenção das amostras, impedindo que as mesmas abrangessem mais de um padrão.

Após a aplicação dos processos para a melhoria digital das imagens, iniciou-se o processo de classificação supervisionada, onde o usuário adquire amostras, áreas de treinamento para as classes de uso da terra pré-estabelecidas quanto mais homogêneos forem os padrões espectrais das amostras, melhor será a definição das classes, e mais confiável se tornará à carta de uso da terra.

A análise das amostras, identificando a pureza espectral encontrada em cada amostra coletada pelo usuário, contabiliza a habilidade de cada usuário em identificar os diferentes padrões espectrais bem como, a associá-los às classes de uso da terra encontradas na área, assim uma maior clareza e uma maior qualidade nas imagens, onde as amostras serão coletadas. Esse procedimento permite um processo de classificação supervisionada com maior confiabilidade.

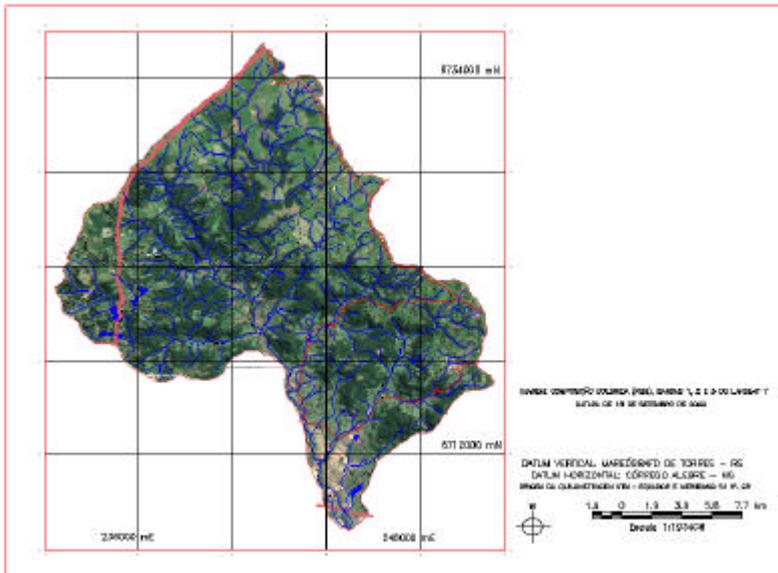
A mesma seqüência operacional de classificação supervisionada foi realizada nas imagens brutas, sem nenhuma correção atmosférica, ou sem qualquer outro tratamento digital sobre as imagens, a fim de comparar as purezas das amostras coletadas no processo de classificação supervisionada, como ainda a área em km² das duas cartas de uso da terra.

4. RESULTADOS

Como primeiro resultado satisfatório deste trabalho, pode-se nomear a delimitação e a georeferência da microbacia do Arroio Grande, onde o tratamento digital de correção geométrica possibilitou com grande precisão a sobreposição dos vetores digitalizados em cartas topográficas sobre as imagens do LANDSAT 7 importadas posteriormente. Com a coleta de 36 pontos nas cartas topográficas e jogando as coordenadas destes pontos para a imagem, foi possível a visualização da área de estudo e um primeiro reconhecimento dos padrões espectrais encontrados

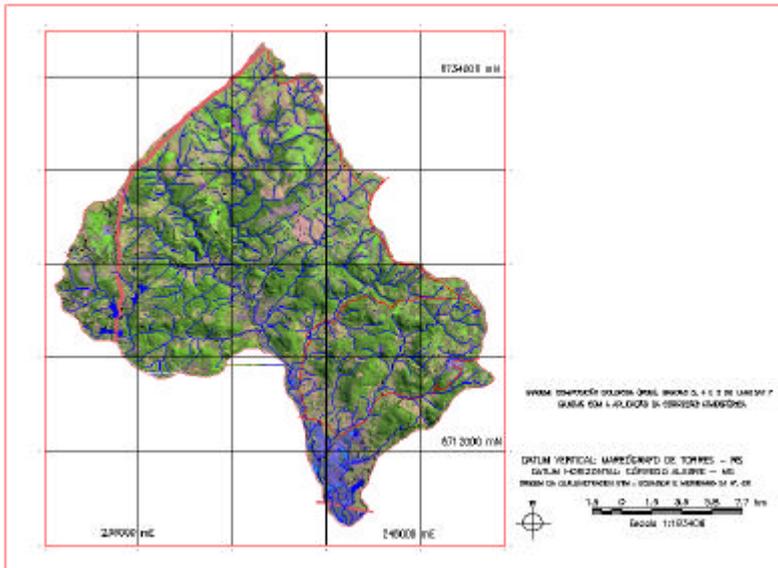
nas diferentes bandas. A FIGURA 1 mostra a composição colorida RGB, bandas 1, 2 e 3 do satélite, juntamente com os vetores de drenagem e de vias de acesso encontrados na área e digitalizados sobre as cartas topográficas:

FIGURA 01 – COMPOSIÇÃO COLORIDA DAS BANDAS 1, 2 E 3 DO LANSAT 7, VISUALIZANDO A MICROBACIA DO ARROIO GRANDE:



Com o processo correção atmosférica pôde perceber-se uma significativa melhoria na qualidade visual das imagens compostas pelas bandas 1, 2, 3, 4 e 5 do LANDSAT 7, melhoria visual esta que permitia ao usuário uma maior nitidez nos diferentes padrões espectrais, bem como uma melhor definição nas áreas de transição de uma resposta espectral de um determinado alvo para outro. A FIGURA 2, mostra a composição colorida RGB, bandas 3, 4 e 5 das imagens sem interferência atmosférica. A ausência desta interferência atmosférica, além de percebida visualmente, ainda foi comprovada com a geração dos histogramas das bandas brutas e das imagens derivadas das correções atmosféricas, onde em todas as bandas espectrais as imagens derivadas apresentaram histogramas muito próximos as origens, ou seja padrões de cinza muito escuros, indicando assim a ausência d interferência atmosférica.

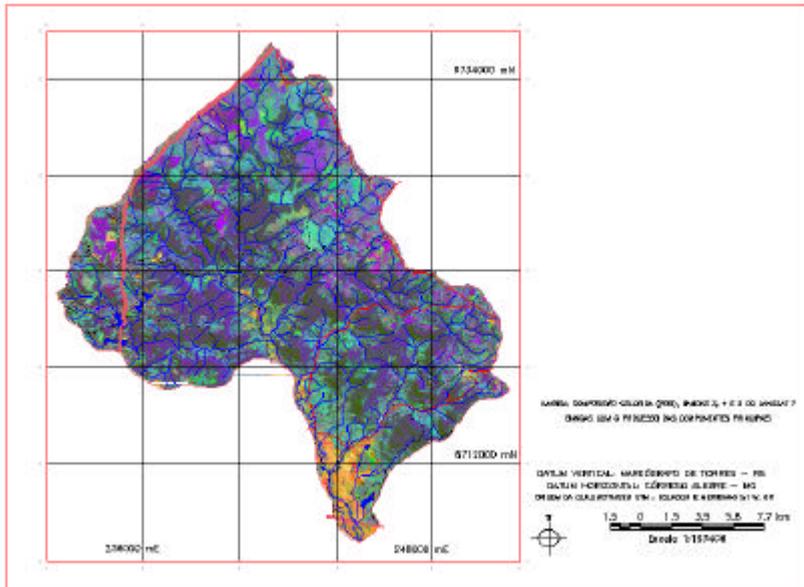
FIGURA 02 – COMPOSIÇÃO COLORIDA DAS BANDAS 3, 4 E 5, JÁ SEM A INTERFERÊNCIA ATMOSFÉRICA:



As outras técnicas de tratamento digital de imagens, mostraram-se relevantes para a escolha das áreas de treinamento no processo de classificação supervisionada, principalmente o processo das componentes principais, que permitiu a composição de imagens coloridas, que melhor definiam as resposta espectral dos diferentes alvos encontrados na área da microbacia. Compondo uma grande diferença na matriz de covariância, a composição 1, 2 e 3 das componentes principais obteve-se uma imagem que diferenciava muito bem respostas e o diferentes padrões espectrais dos possíveis grandes usos da terra encontrados na área. Os processos de segmentação, bem como os processos de filtragem das imagens, tiveram como principal objetivo para a classificação a clareza na delimitação das bordas, ou seja, para delimitar qual a área que cada amostra capturada para a classificação supervisionada deveria abranger, impedindo assim, uma maior confusão nos padrões de cada classe de uso selecionada.

A FIGURA 3, mostra a composição de componentes principais acima mencionada, onde os padrões dos alvos dos principais usos são perfeitamente discriminados.

FIGURA 03 – COMPOSIÇÃO COLORIDA DE COMPONENTES PRINCIPAIS DERIVADA DAS BANDAS 1, 2 E 3, DA MICROBACIA DO ARROIO GRANDE:



Com as técnicas de processamento digital, foi possível a determinação de uma boa quantidade de áreas de treinamento, dentre as mais variadas classes de uso da terra. O mesmo processo de escolha de área de treinamento e número de classes de uso, foi empregado para as imagens brutas, que também foram submetidas a uma classificação supervisionada afim de possibilitar comparação. Após a escolha das amostras foi possível verificar o desempenho médio dessas, para as diferentes classes de uso da terra, o número de áreas que não foram passíveis de classificação e ainda o valor da confusão média da classificação geral do uso da terra. A Tabela 1 mostra os valores destes parâmetros encontrados nos dois processos de classificação, onde Class_Band_Brutas, são os parâmetros encontrados para a classificação das bandas brutas, e Class_Band_Alteradas são os parâmetros encontrados para a classificação das bandas que sofreram os processos digitais.

TABELA 01 – PARÂMETROS DE AVALIAÇÃO DO PROCESSO DE CLASSIFICAÇÃO SUPERVISIONADA:

	Class_Band_Brutas	Class_Band_Alteradas
Desempenho Médio	98,19	99,06
Abstenção Média	0,00	0,0
Confusão Média	1,81	0,40

Com o auxílio ainda do aplicativo foi possível a comparação entre as classes de uso selecionadas, e a estimativa de erro (confusão) entre elas encontradas. Assim pode-se analisar quais os padrões que por possuírem uma resposta do valor espectral parecida, mantiveram uma maior relevância na escolha das áreas de treinamento. As TABELAS 2 e 3 trazem os valores de confusão entre as classes e a resposta, se o valor de confusão é aceitável ou não.

TABELA 02 – VALORES DA MATRIZ DE CLASSIFICAÇÃO (CONFUSÃO MÉDIA ENTRE AS CLASSES), VALORES ENCONTRADOS NA CLASSIFICAÇÃO DAS BANDAS BRUTAS:

	S_exposto	Lavoura	S_irrigado	Água	Floresta	Campo	S_urbano
S_exposto	96,79	0,20	1,82	0,79	0,0	0,36	0,04
Lavoura	0,07	99,47	0,0	0,0	0,13	0,33	0,0
S_irrigado	4,49	0,0	95,51	0,0	0,0	0,0	0,0
Água	2,3	0,0	0,35	96,52	0,0	0,83	0,0
Floresta	0,34	0,17	0,0	0,0	98,94	0,55	0,0
Campo	0,79	0,59	0,0	0,0	0,13	98,48	0,0
S_urbano	10,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	90,0

Outro parâmetro ainda de análise e validação dos processos digitais pode ser encontrado na quantificação das áreas das classes de uso da terra, em que a comparação dos mapas temáticos, primeiro e segundo casos, encontrou-se uma boa diferenciação nos valores territoriais de cada classe de uso de terra conforme a TABELA 4.

TABELA 03 – VALORES DA MATRIZ DE CLASSIFICAÇÃO (CONFUSÃO MÉDIA ENTRE AS CLASSES), VALORES ENCONTRADOS NA CLASSIFICAÇÃO (TRATAMENTOS DIGITAIS):

	S_exposto	Lavoura	S_irrigado	Água	Floresta	Campo	S_urban
S_exposto	95,43	0,0	1,71	0,0	0,0	2,86	0,0
Lavoura	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
S_irrigado	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Água	0,14	0,0	0,14	99,58	0,0	0,0	0,14
Floresta	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0
Campo	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	0,0
S_urbano	0,0	0,0	2,49	0,0	0,0	0,0	97,06

TABELA 4: COMPARATIVO DOS VALORES ENCONTRADOS EM KM² DAS ÁREAS DE CADA PADRÃO DE USO DA TERRA CLASSIFICADO:

Uso Da Terra	Class_band_brutas	Class_Band_Alteradas
S_exposto	6.94	46.34
Lavoura	63.72	20.49
S_Irrigado	8.11	3.22
S_Urbano	1.35	1.07
Floresta	131.22	118.83
Campo	70.00	90.38
Água	0.57	1.56
Total	281.93	281.93

Os padrões de solo exposto, lavoura e solo irrigado, apresentam um grande valor de áreas diferenciado. Esta diferença na quantificação das áreas de uso da terra ocorre porque as grandes áreas planas cituadas na Depressão Central Sul-riograndense, que antropicamente são utilizadas para o plantio de lavouras irrigadas (arroz), e que devido a data da imagem 20 de setembro de 2000, época de preparo da terra e plantio do arroz irrigado, se encontravam em fase de aração (Solo Exposto), inundação (Solo Irrigado) e até em fase de plantio/germinação (Lavoura). Visto esta

semelhança e grande proximidade na espectral dos alvos, os algoritmo classificador atuou de forma particular para cada uma das imagens classificadas.

5. CONCLUSÃO

Significativas, as técnicas de processamento digital ajudaram ao usuário na geração de um mapa de uso da terra mais confiável.

Como técnica mais importante à *correção atmosférica* mostrou uma grande importância para a elaboração do mapa de uso da terra, principalmente na coleta de amostras (áreas de treinamento do aplicativo) em composições coloridas escolhidas pelo usuário, pois a mesma possibilitou uma melhor diferenciação de alvos, pois a nitidez e o contraste encontrado entre um padrão espectral e outros aumentou significativamente, possibilitando uma maior confiabilidade nas amostras escolhidas para a classificação supervisionada de uso da terra.

Também para a definição destas áreas de treinamento, as técnicas de *transformação das componentes principais*, mostrou-se de grande valia na identificação de alvos de mesma refletância, mas que se mostravam em tons diferentes de colorido nas composições montadas para definição das amostras. A diferenciação de certos alvos na escolha de banda de covariâncias bem definida também ajudou na escolha das áreas de treinamento, dando uma maior precisão e homogeneidade nas amostras, baixando significativamente o valor da confusão médio entre as amostras.

A técnica de *segmentação* influenciou também de forma positiva, melhorando significativamente a classificação supervisionada do aplicativo, pois com a mesma foi possível identificar os limites que cada amostra deveria apresentar, pois com o método de bordas foi possível identificar as diferentes regiões homogêneas para a captura das amostras.

Com a melhor definição das amostras (classificação supervisionada), o uso da terra apresentou uma melhoria ao que diz respeito à realidade regional, representando uma maior veracidade nas áreas de conflito, onde o interesse do estudo dos recursos naturais tem para o homem uma maior importância tanto para a preservação destas áreas, como também para um melhor manejo adaptado às condições local. Comprovando desta forma que as técnicas de processamento de imagem são importante não somente para a melhor visualização das imagens brutas, mas também para estudos subseqüentes de interesse humano.

6. REFERÊNCIAS

KLEIN, R. M. & LEITE, P. F. **Geografia do Brasil: Região Sul**. In: Vegetação. Rio de Janeiro: Sergraf-IBGE, 1992. 113-147p.

MASCARENHAS, N.D.A. & VELASCO, F.R.D. **Processamento digital de imagens**. IV escola de Computação

MULLER FILHO, I. L. **Notas Para o Estudo da Geomorfologia do Rio Grande do Sul**. Santa Maria: Imprensa Universitária da UFSM, 1970. 34p.

NIMER, E. **Geografia do Brasil: Região Sul**. *In*: Clima. Rio de Janeiro: Sergraf-IBGE, 1992. 151-187p.

INTEGRAÇÃO DE IMAGEM DE SATÉLITE E MAPA TOPOGRÁFICO POR MEIO DA TEORIA DA EVIDÊNCIA

Selma Regina Aranha Ribeiro¹
Alzir Felipe Buffara Antunes²
Jorge da Silva Centeno³

- 1 Universidade Federal do Paraná – selma@geoc.ufpr.br
- 2 Universidade Federal do Paraná – felipe@geoc.ufpr.br
- 3 Universidade Federal do Paraná – centeno@geoc.ufpr.br

RESUMO

O sensoriamento remoto tem sido hoje a principal fonte de dados para o mapeamento temático em grandes e médias escalas. A maioria dos temas são oriundos da classificação digital derivada em geral pelo método clássico da máxima verossimilhança.

Haja vista, a dificuldade de se classificar algumas feições do terreno devido a respostas espectrais serem próximas entre si, resulta em uma diminuição na confiabilidade da classificação automatizada. A fim de mitigar este problema, pode-se integrar outras fontes de dados tal como mapa topográfico, visando o aumento de variáveis para a tomada de decisão dentro dos algoritmos estatísticos.

Dentro do processo de integração de dados de imagem de satélite e mapa topográfico, a teoria da evidência aparece como uma ferramenta útil no incremento da acurácia da classificação digital. Esta teoria agrega as feições contidas em ambas as fontes, de forma complementar ou através de inferências estatísticas.

Neste trabalho foram integradas imagem de satélite pré-classificada com mapa topográfico afim de se obter um mapa temático que considere as informações contidas em ambas as fontes, com o intuito de melhorar a classificação digital através da integração de dados de diferentes fontes: Mapa Topográfico e Imagem Multiespectral Landsat TM7. E como objetivo específico, avaliar a utilização da teoria da evidência e comparar a classificação pelo método da máxima verossimilhança sobre imagem orbital, com a classificação oriunda da teoria da evidência.

Palavras-chave: Sensoriamento Remoto, Integração de dados, Teoria da Evidência

ABSTRACT

The remote sensing has been today the main source of data for the thematic mapping in big and averages scales. Most of the themes is originating from of the digital classification derived in general by the classic method of the maximum likelihood.

Have seen, the difficulty of being classified some features of the land due to ghasly answers be to each other close, it results in a decrease in the reliability of the automated classification. In order to mitigate this problem, it can be integrated other sources of data just as topographical map, seeking the increase of variables inside for the taking of decision of the statistical algorithms.

Inside of the process of integration of data of satellite image and topographical map, the theory of the evidence appears as an useful tool in the increment of the accuracy of the digital classification. This theory joins the features contained in both sources, in a complementary way or through statistical inferences.

In this work satellite image pré-classified with kindred topographical map of obtaining a thematic map were integrated that it considers the information contained in both sources, with the goal of improving the digital classification through the integration of data of different sources: Topographical map and Imagem Multiespectral Landsat TM7. And as specific objective, to evaluate the use of the theory of the evidence and to compare the classification for the method of the maximum likelihood on image orbital, with the classification originating from of the theory of the evidence.

Keywords : Remote Sensing, Integration of data, Theory of the Evidence

1. INTRODUÇÃO

O sensoriamento remoto tem sido hoje a principal fonte de dados para o mapeamento temático em grandes e médias escalas. A maioria dos temas são oriundos da classificação digital derivada em geral pelo método clássico da máxima verossimilhança. A dificuldade de se classificar algumas feições do terreno devido a respostas espectrais serem próximas entre si, resulta em uma diminuição na confiabilidade da classificação automatizada. A fim de mitigar este problema, pode-se integrar outras fontes de dados tal como mapa topográfico, visando o aumento de variáveis para a tomada de decisão dentro dos algoritmos estatísticos.

Dentro do processo de integração de dados de imagem de satélite e mapa topográfico, a teoria da evidência aparece como uma ferramenta útil no incremento da acurácia da classificação digital. Esta teoria agrega as feições contidas em ambas as fontes, de forma complementar ou através de inferências estatísticas.

2. OBJETIVO

2.1. GERAL

Melhorar a classificação digital através da integração de dados de diferentes fontes: Mapa Topográfico e Imagem Multiespectral Landsat TM7.

2.1.1. Específico

- a)- Avaliar a utilização da teoria da evidência ;
- b)- Comparar a classificação pelo método da máxima verossimilhança sobre imagem orbital, com a classificação oriunda da teoria da evidência.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Segundo RICHARDS (1999), a integração de dados significa a possibilidade de junção de diferentes componentes ou fontes de dados afim de se obter um melhor resultado.

Integração significa que diferentes componentes serão agrupados e os mesmos cooperaram para a obtenção de um melhor resultado, que não seria obtido se estes dados fossem utilizados separadamente (BALTSAVIAS, 1999).

A integração de dados de diferentes origens, associada a informações oriundas de imagem capturadas por técnicas de Sensoriamento Remoto (imagem digital/ orbital), tem se mostrado uma ferramenta de grande utilidade em mapeamentos temáticos. Cientistas da área das Ciências da Terra, tais como (WARNER e SHANK, 1997); (HARRIS e MURRAY, 1990); (RIBEIRO, 2002) e (ANDRADE, 2003), podem ser citados como referência em estudos de integração de dados.

A teoria da evidência, ou seja, teoria matemática na qual as fontes de dados são tratadas separadamente e suas contribuições combinadas de forma a permitir uma inferência conjunta relativa, isto é, determinar o correto atributo para um determinado pixel, isto requer que as variáveis originais sejam numéricas (RICHARDS, 1999).

Esta teoria está baseada na probabilidade de determinado pixel pertencer a uma classe, levando-se em conta a incerteza ou ignorância, sendo que o somatório das probabilidades e incertezas devem ser igual a unidade. A incerteza faz com que as probabilidades (função m_1) em favor de determinada classe tenha um decréscimo devido a insegurança da assertiva (função m_2).

$$m_1 (< p_1, p_2, p_3, >), m_2 (< p_1, p_2, p_3, q >)$$

onde: θ significa a incerteza e p as probabilidades de se pertencer a determinada classe.

Considerando as duas fontes de dados utilizadas, o mapa topográfico e a imagem de satélite, a combinação destas duas fontes de dados é dada pela seguinte soma ortogonal (MOON, 1990; GONG, 1996):

$$m_1 \wedge m_2(D) = S (A_i \wedge B_j = D) m_1(A).m_2(B) / k$$

$$k = [1 - S (A_i \wedge B_j = 0) m_1(A).m_2(B)]$$

onde: m_1 e m_2 são as evidências para as duas fontes de dados;

k um fator de escala, que por ser constante pode ser desconsiderado.

Desta forma a expressão acima pode ser reescrita da seguinte forma:

$$m(w) = m1(w) \times m2(w) + m1(w) \times q2(w) + m2(w) \times q1(w)$$

onde:

$m(w)$ = a evidência para a classe w ;

$m1(w)$ = a probabilidade do pixel da fonte 1 pertencer a classe w ;

$m2(w)$ = a probabilidade do pixel da fonte 2 pertencer a classe w ;

$\theta1(w)$ = a ignorância para a fonte 1;

$\theta2(w)$ = a ignorância para a fonte 2.

4. METODOLOGIA

4.1. FONTE DE DADOS

- Mapa Topográfico de GUARATUBA, 1:50.000 Folha SG.22-X-D-V MI-2858-4, IBGE(1992);
- Imagem Landsat TM7, Bandas 2,4,7, Jan/2000(Figura 1).

Figura 1- Área de Estudo- Guaratuba- PR, mapa topográfico e imagem Landsat TM7



4.2. DESCRIÇÃO DO MÉTODO

4.2.1. Obtenção de Evidências a partir da imagem (Landsat TM7)

Sobre a imagem Landsat TM7 foram selecionadas amostras representativas das seguintes classes:

- a) Baixios – áreas rasas, em geral composta de areia e lodo;
- b) Reflorestamento- áreas reflorestada com pinus;
- c) Mangues- vegetação típica de ambientes lacustres;
- d) Vegetação- generalização de todas as áreas verdes;
- e) Solo Exposto- inclui todos os antropismos;
- f) Mar- inclui a área de baía, mar aberto e rio.

Procurou-se que as mesmas classes observadas na imagem fossem também identificadas no mapa topográfico.

Então, a partir de amostragem foram obtidas as matrizes variância- covariância para as classes envolvidas. Utilizando o algoritmo de MAXVER, foram determinadas as funções densidade de probabilidade de acordo com a expressão abaixo:

$$P(X/W_i) = \frac{1}{N} \frac{1}{\sqrt{|\Sigma_i|}} \exp\left\{-\frac{1}{2}(X - \mu_i)^t S^{-1} (X - \mu_i)\right\}$$

onde:

$P(X/W_i)$ = probabilidade de um pixel X pertencer a uma classe W ;

Σ_i = matriz variância-covariância;

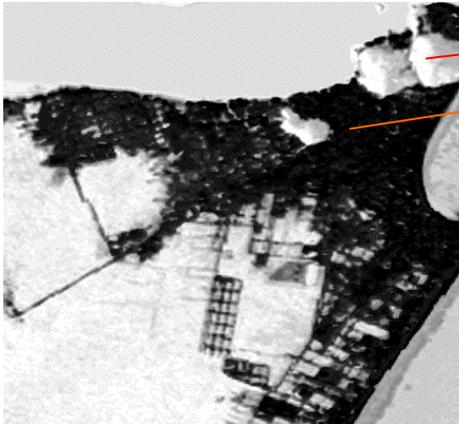
X = vetor, nível de cinza;

W_i = classe;

N = número de classes.

Cada uma das matrizes variância-covariância representativa de cada classe amostrada, gerou uma imagem probabilística, onde os tons mais escuros mostram a maior probabilidade do pixel pertencer a determinada classe, e a medida que os tons se tornam mais claros a probabilidade diminui. A Figura 2 mostra a imagem densidade de probabilidade para a classe solo exposto (que inclui as áreas urbanas, vias e descampado).

Figura 2-Imagem probabilística de solo exposto



Menor probabilidade

Maior probabilidade

Para a consecução da teoria da evidência, faz-se mister o conhecimento das incertezas (θ) das classes. Para a determinação de (θ) para os dados da imagem, utilizou-se como referência a qualidade da classificação individual das classes, através do coeficiente **Kappa** de acurácia, que considera todos os valores da matriz de erros oriunda da verdade de campo (imagem original) e a imagem classificada por MAXVER.

A determinação de θ é dada pela seguinte expressão:

$$p(w_i) = p(w_i) * K; \quad q = 1 - p(w_i)$$

onde:

K -coeficiente kappa;

$p(w_i)$ – probabilidade do pixel pertencer a determinada classe;

θ - incerteza.

E os valores de K para as classes:

Kbaixio=	0,940
Kreflorestamento	0,770
Kmangue=	0,940
KVegetação=	0,877
KSolo Exposto=	0,882
Kmar=	0,940

4.2.2. Evidências oriundas do mapa

A imagem do mapa topográfico rasterizado, foi segmentada de acordo com as diferentes classes supra citadas. Cada segmento da imagem (classes), foi referenciado a uma determinada imagem probabilística. Afim de que, a probabilidade de cada uma das classes pudessem também variar de 0 a 1, foi efetuado um procedimento de distanciamento, ou seja, a probabilidade de determinada feição existir fora dos seus limites desenhados no mapa. Estas distâncias levam em conta a tendência de uma classe se expandir ou se retrain, além dos seus limites. De acordo com o ilustrado na Figura 3.

Figura 3 – Buffering para a classe solo exposto



Maior probabilidade de solo exposto

Estas distâncias ou “Buffers” foram determinadas de acordo com critérios específicos, de reconhecimento e interpretação espacial, tal como se segue abaixo:

Distâncias (em pixel)

Classes:	Dentro	Fora
BAIXIO	10	10
REFLO.	15	0
S. EXP	0	15
VEG	15	0

MANGUE	2	2
MAR	0	0

Com relação a determinação das incertezas para o mapa, chegou-se através de observações a seguinte expressão:

$$q = (1 - \text{Máx}(Pwi))/N;$$

onde:

N - número de classes;

Máx(Pwi) - máxima probabilidade

4.2.3. Integração das Evidências

A matriz abaixo, mostra a distribuição de ocorrência de determinada classe para as duas fontes distintas de dados. Onde nas linhas e colunas limítrofes tem-se a ignorância ou as incertezas (Quadro1).

Quadro1 – Matriz de evidências

	MAPA							q
	W1	W2	W3	W4	W5	W6		
I M A G E M	W1							
	W2							
	W3							
	W4							
	W5							
	W6							
	q							

Uma vez composta a matriz das evidências, determina-se m(w)- a decisão em favor de determinada classe. A evidência é determinada de acordo com a expressão:

$$m(w) = m_1(w) \times m_2(w) + m_1(w) \times q_2(w) + m_2(w) \times q_1(w)$$

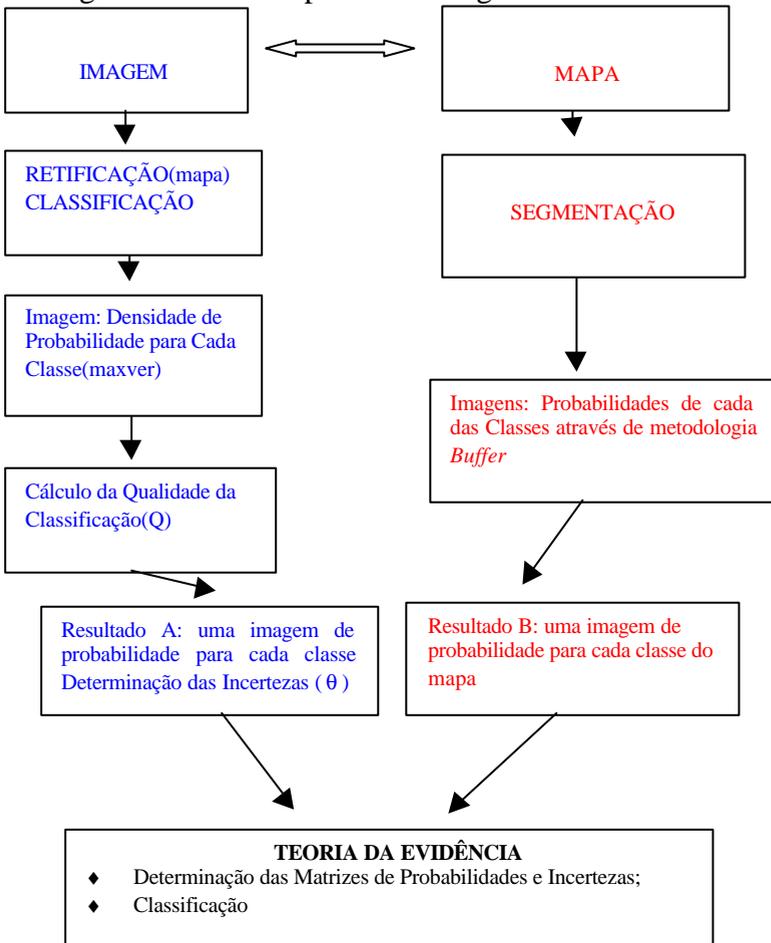
onde :

m(w)= a evidência para a classe w;

$m1(w)$ = a probabilidade do pixel da fonte 1 pertencer a classe w ;
 $m2(w)$ a probabilidade do pixel da fonte 2 pertencer a classe w ;
 $\theta1(w)$ = a ignorância para a fonte 1;
 $\theta2(w)$ = a ignorância para a fonte 2.

O fluxograma abaixo resume todos os procedimentos efetuados até a determinação das evidências e posteriormente a imagem classificada considerando as duas fontes de dados.

Fluxograma com as etapas metodológicas



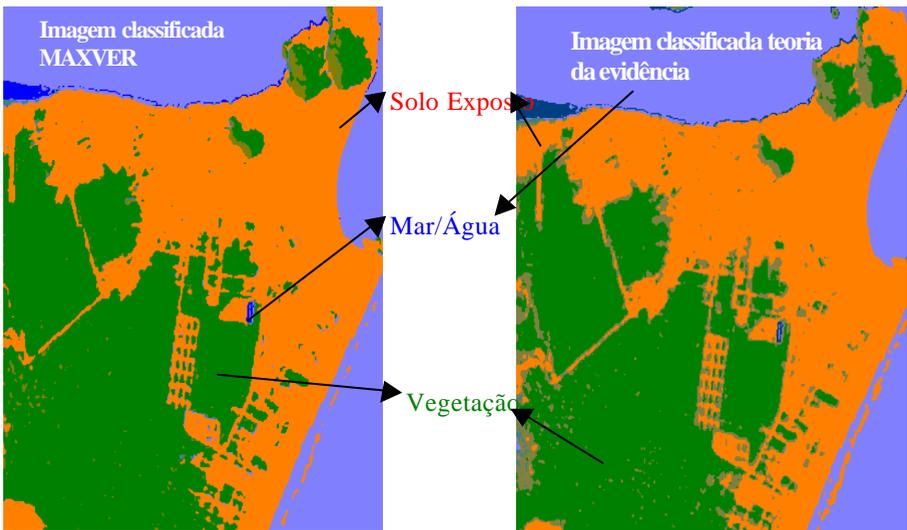
5. RESULTADOS

A imagem oriunda do mapa topográfico está de certa forma desatualizada, haja vista que o mesmo foi editado em 1992 (IBGE, 1992) e a imagem Landsat é de janeiro de 2000. Observa-se na Figura 1 que a ocupação urbana na imagem é bem maior que no mapa topográfico, considerando a defasagem temporal.

A Figura 4 (imagem classificada por meio da teoria da evidência) demonstra que a classificação pela teoria da evidência, manteve as informações atualizadas da imagem classificada MAXVER, ou seja, existia maior probabilidade de ocorrer solo exposto a vegetação.

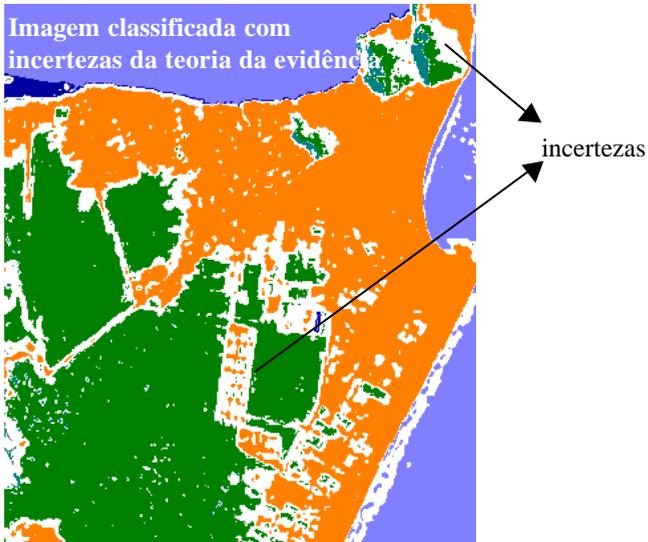
Analogamente, observa-se na imagem MAXVER a ocorrência da classe água no local onde deveria estar presente a classe solo exposto. Este equívoco então, foi corrigido através dos dados provenientes do mapa topográfico, que foram preponderantes, e a classe água foi substituída por solo exposto e vegetação.

Figura 4 – Imagens classificadas



A Figura 5 abaixo, mostra a imagem classificada e as incertezas como uma classe complementar. Apresenta as regiões (em branco) onde existem diferenças entre as duas fontes de dados. Posteriormente foram atribuídas a essas regiões a classes de maior probabilidade de ocorrência, considerando-se as incertezas do pixel pertencer a determinada classe.

Figura 5- Imagem classificada com as incertezas ou ignorância



6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Através comparação da imagem classificada por MAXVER e o mapa topográfico, chegou-se as seguintes conclusões:

- Houve uma melhora significativa utilizando-se as duas fontes de dados no processo de classificação digital;
- A teoria da evidência mostrou-se uma ferramenta útil na classificação digital, pois considera as informações contidas em ambas as fontes de dados, considerando as probabilidades e incertezas.

Para uma avaliação mais criteriosa dos resultados obtidos, seria recomendável que fossem feitas verificações em campo para se determinar o índice de acurácia em ambas as imagens, e compará-las em termos de qualidade.

Em adição seria interessante que sempre fossem utilizadas fontes compatíveis em termos temporais, com a finalidade de se poder extrair sempre a melhor informação em ambas as fontes.

7. REFERÊNCIAS

- BALTSAVIAS, E. & HAHN, M. 1999. **Integration of Image Analysis and GIS**. International Archives of Photogrammetric and Remote Sensing, v. 32.
- ANDRADE, A. F. 2003. **Integração de variáveis espectrais e forma na classificação de imagens de alta resolução utilizando redes neurais artificiais**. Dissertação de mestrado- UFPR. 120p.
- GONG, P.1996. **Integrated analysis of spatial data from multiple sources: using evidential reasoning and artificial neural network techniques for geological mapping**. PE&RS v.62n.5p.513-523.
- HARRIS, R. J.; MURRAY, R. 1990. **IHS transform for the integration of RADAR imagery with other remotely sensing data**. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. V. 61, n. 12, p. 1631- 1641.
- IBGE.1992. **Mapa topográfico de Guaratuba folha SG.22-X-D-V MI-2858-4**. Rio de Janeiro
- MOON, M.W. 1990. **Integration of geophysical and geological data using evidential belief function**. IEEE Transactions on geosciences and remote sensing. V.28, n.4.
- RIBEIRO, S.R. A. CENTENO, J.A . S. 2002. **Integração de imagens de satélite e dados de complementares para a delimitação de unidades de paisagem usando uma abordagem baseada em regiões**. Boletim de Ciências Geodésicas- Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas –UFPR. P. 47-57.
- RICHARDS, John & JIA, Xiuping. 1999. **Remote Sensing Image Analysis, an Introduction**. Spring-Verlag. Berlim.
- WARNER,T. A .; SHANK, M. 1997. **An evaluation of the potential fuzzy classification of multispectral data using artificial neural networks**. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing. v.63, n.11, p.1285-1294.

A INFLUÊNCIA DA ALTERNÂNCIA ENTRE CLASSES E AMOSTRAS NA ENTRADA DA REDE NEURAL NA CLASSIFICAÇÃO DE IMAGEM DIGITAL.

Mosar Faria Botelho¹
Jorge Silva Centeno²

1 Pós Graduação em Ciências Geodésicas - UFPR – mfbotelho@yahoo.com.br

2 Depto. De Geomática - UFPR centeno@geoc.ufpr.br

RESUMO

O presente trabalho investigou a influência da alternância de classes e amostras na entrada da Rede Neural, na classificação de imagens digitais oriundas do sensoriamento remoto. Este trabalho envolve a análise da eficiência do software de simulação, MULTIBACK, que modela as RNAs para identificação de feições utilizando o modelo de retro-propagação.

Palavras-chave: Sensoriamento Remoto; Redes Neurais; Classificação de Imagens

ABSTRACT

The present work investigates the influence of the alternation of classes and samples in Neural Network input in the classification of remote sensing digital images. This work involves the analysis of the efficiency of the simulation software, MULTIBACK, that models RNAs for identification of features using the back-propagation model.

Keywords : Remote sensing; Neural NetWork; Image Classification

1. INTRODUÇÃO

As redes neurais pertencem a um dos ramos da Inteligência Artificial que busca inspiração no funcionamento do cérebro para construir algoritmos computacionais inteligentes os quais serão capazes de aprender e desenvolver suas representações internas do conhecimento. A habilidade das redes em extrair complicadas relações lineares (e não lineares) a partir dos dados de entrada ruidosos de imagens digitais, oriundas do sensoriamento remoto, tem produzido resultados surpreendentes (HAYKIN, 2001).

A utilização de Redes Neurais Artificiais emerge como uma alternativa vantajosa aos classificadores baseados em conceitos estatísticos, uma vez que nenhuma hipótese prévia sobre a distribuição dos dados a serem classificados é exigida, e os dados de entrada podem ter origens e escalas diferentes (RIBEIRO, S. R. A.; BÁHR, H. P. e CENTENO, J. S., 2002). As Redes Neurais artificiais tem considerável potencial para a classificação de dados advindos de Sensoriamento Remoto. A classificação através de um conjunto de treinamento mostra que as Redes Neurais apresentam capacidade para classificar classes melhor que o método da análise discriminante (FOODY; MCCULLOCH E YATES, 1995).

No presente artigo são apresentados os resultados de um experimento que investigou a influência da alternância de classes e amostras na entrada da Rede Neural na classificação de imagens digitais oriundas do sensoriamento remoto. Este trabalho envolve verificar a influência da variação da quantidade de amostras para cada classe, quando as classes na entrada da rede para a classificação final forem intercaladas. Também pretende-se analisar a eficiência do algoritmo do modelo de retro-propagação, para classificação de imagens digitais, adaptado para possibilitar a variação da camada intermediária, a normalização dos padrões de entrada, assim como a classificação da imagem implementado no software MULTBACK.

2. REVISÃO DE LITERATURA

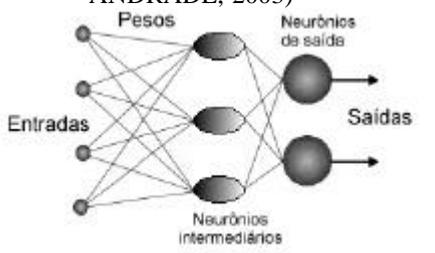
2.1. REDES NEURAIAS

As Redes Neurais vêm sendo utilizadas com sucesso nas mais diversas áreas de pesquisas, principalmente como ferramenta de classificação de imagens digitais. Pode-se citar: na detecção de focos de incêndio (TORINO E BARRETO, 2002); na classificação de áreas agrícolas, na separação de culturas (VIEIRA, 2000); na medicina para a detecção de câncer em Mamogramas Digitalizados (KINOSHITA, MARQUES E FRERE 2000); no desenvolvimento de métodos para a detecção de movimentos de objetos, através de seqüência de imagens digitais (FERNANDEZ – CABALLERO E AL, 2003) e outras. Neste mesmo incentivo, outros pesquisadores têm se empenhado para melhorar a arquitetura ou a classificação na saída da rede,

fazendo com que fique mais rápida no seu processamento, aprendizado e treinamento como visto em JI (2000), TONDER E EJIMA (2000), OLIVEIRA E BAUCHSPIESS (2001), MARTINS, GUIMARÃES E FONSECA (2002), YILMAZ E AKIN (2002), BAKKER E HESKES (2003).

Conforme DYMINSKI (2000), uma rede neural é constituída por diversos neurônios dispostos em camadas, como é mostrado na figura 1. Usualmente as camadas são classificadas em três grupos: camada de entrada: onde os padrões são apresentados à rede; camadas escondidas: onde é feito o processamento; camada de saída: onde o resultado final é concluído e apresentado. O número de neurônios de entrada é função do número de variáveis considerados para a classificação.

FIGURA 1 – ARQUITETURA DE UMA REDE NEURAL (ADAPTADO DE ANDRADE, 2003)



Em cada neurônio (i) de cada uma das camadas (j), os valores das entradas (x_i) são multiplicados por um peso (W_{ij}), que simula a sinapse biológica, gerando entradas ponderadas, como é mostrado na equação 1. A soma ponderada das entradas resulta num único valor (NET) que será comparado com o valor limite para ativação do neurônio. Se este valor alcançar o limite de ativação do neurônio, ele será excitatório, e será repassado aos neurônios seguintes, caso contrário ficará inativo (VIEIRA, 2000).

$$\text{NET} = \sum W_{ij} * x_i \quad (1)$$

A função de ativação do neurônio é quem controla as suas saídas, ou seja, processa o valor NET e gera a saída, que será aplicada a outro neurônio. Os valores da ativação resultantes serão modulados por uma função de transferência (não linear - sigmóide, lógica, linear, etc...). Geralmente, adota-se funções não lineares, devido ao fato de simularem mais precisamente os neurônios biológicos (ABELÉM, 1994).

2.2. TREINAMENTO POR MEIO DO ALGORITMO DA RETROPROPAGAÇÃO

A Rede Neural pode ser treinada para resolver problemas de classificação multiespectral. Treinar uma Rede Neural significa ajustar a sua matriz de pesos (W) de forma que o vetor de saída coincida com um certo valor desejado para cada vetor de entrada (RIBEIRO, E CENTENO, 2001).

O algoritmo de retro-propagação é o algoritmo mais utilizado para o treinamento de Redes Neurais, sendo em parte, responsável pelo ressurgimento do interesse dessa área da Inteligência Artificial. Este é um algoritmo supervisionado que consiste em fornecer padrões de classes conhecidas, de forma a ajustar os pesos das conexões entre neurônios, objetivando minimizar o erro na saída, o que caracteriza o aprendizado. O algoritmo baseia no método do gradiente decrescente (RIBEIRO E CENTENO, 2001).

As funções mais utilizadas no modelo de retro-propagação são as funções não lineares (ABELÉM, 1994; VIEIRA, 2000). Foi adotada, para este trabalho a função sigmóide, onde os pontos de saturação estão entre 0 e 1.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. IMAGEM

Utilizou-se parte da imagem de satélite, Spot HRV de 28 de junho, com 3 bandas, figura 2, que representa uma área de estudo localizada próxima à cidade de Littleport no município de Cambridge, leste da Inglaterra, fornecido gentilmente pela Universidade Federal de Viçosa. Esta área está aproximadamente ao nível do mar com topografia levemente ondulada. A agricultura da região é caracterizada por técnicas de plantação de colheita rotativa, contendo culturas agrícolas como: Batata, batata doce, trigo, Terra improdutiva, cebola, Pêra, Cebola, Parnips, cenoura. A imagem cobre uma área de 200 x 200 pixels, correspondente a 16 km².

Para esta imagem, dispõe-se de uma classificação de referência, ou seja, a verdade de campo detalhada, cobrindo toda a imagem. Esta atividade foi executada durante a tese de doutorado de VIEIRA(2000). Esta classificação ideal, mostrada na figura 3, será usada para avaliar o desempenho da classificação.

FIGURA 2 – IMAGEM SPOT HRV DE 28 DE JUNHO 1999

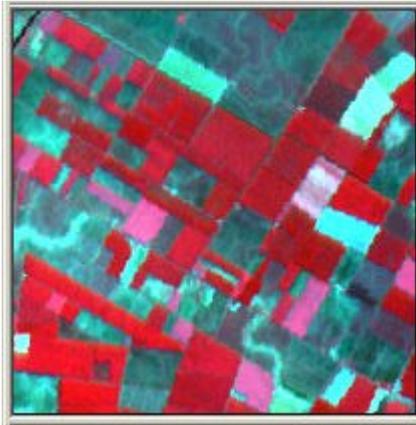
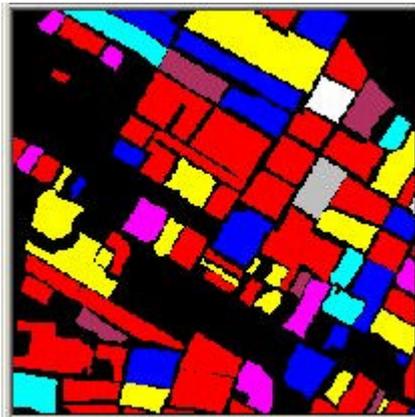


FIGURA 3 – IMAGEM DE REFERÊNCIA



	Batata
	Batata Doce
	Trigo
	Terra improdutiva
	Cebola A
	Pêra
	Cebola B
	Parsnips
	Cenoura

3.2. EQUIPAMENTOS UTILIZADOS

Foi necessário para a execução deste trabalho:

- um computador DURON 850, HD 10.0 GB, 128 MB RAM, monitor LG SVGA
- O algoritmo de retro-propagação implementado no programa MULTIBACK.

3.3. MODELO DE APRENDIZADO DA REDE NEURAL

Implementou-se um algoritmo do modelo de retro-propagação do erro para classificação de imagens digitais, o qual foi originalmente implementado por VIEIRA (2000) na linguagem C ++, ambiente MS-DOS, para a identificação de feições. Neste estudo por meio do software BUILDER 3, converteu-se esse modelo para o ambiente Windows, em linguagem C++, possibilitando assim a variação dos neurônios da camada intermediária, Taxa de Aprendizado e Momento. Este produto foi intitulado como MULTIBACK.

Para este trabalho foi utilizado apenas uma camada intermediária na rede (a única disponível pelo software). No algoritmo de treinamento da retro-propagação do erro o cálculo da variação dos pesos e do erro estão expressos pelas Equações 2 e 3.

$$\Delta W_{ij} = \mathbf{hd} \mathbf{q} \quad (2)$$

$$\mathbf{d} = (A - \mathbf{q})$$

Onde:

A : saída esperada

\mathbf{q} : saída da rede

\mathbf{d} : representa a diferença entre a saída esperada (A), e a saída da rede

ΔW_{ij} : variação dos pesos

Foi adotada, para este trabalho a função sigmóide, onde os pontos de saturação estão entre 0 e 1 (Equação 4).

$$\mathbf{a}_i(t+1) = \frac{1}{1 + e^{-NET_i}} \quad (4)$$

Já para se fazer o ajuste dos pesos para as camadas intermediárias, não existe padrão específico, logo substituí o erro local apresentado na Equação 3, pelo somatório dos produtos entre os pesos que ligam o neurônio em questão com os neurônios da camada de saída (i) e os deltas (\mathbf{d}) dos respectivos neurônios dessa camada.

Para iniciar o processo de treinamento das Redes Neurais, é necessário que todos os pesos sejam inicializados aleatoriamente com valores pequenos, garantindo desta forma que a rede não fique saturada com grandes valores. No treinamento são realizados os seguintes passos:

1. Selecionar um conjunto de treinamento e aplicar estes padrões individualmente à rede.
2. Calcular a saída da rede.
3. Calcular a diferença entre a saída da rede e a saída desejada (erro).
4. Ajustar os pesos da rede de maneira a minimizar o erro.
5. Repetir o passo 1 até o passo 4 para cada padrão do conjunto de treinamento, até o erro se tornar aceitável para o conjunto total de padrões.

4. EXPERIMENTOS

Da imagem original, foram escolhidas várias amostras de culturas diferentes (720 amostras totais, sendo que 120 para cada classe sendo um total de 6 classes). Estas amostras foram utilizadas em dois experimentos: No primeiro, as amostras foram organizadas e ordenadas por classe. Isto significa que todas as amostras de uma mesma classe eram apresentadas à rede uma atrás da outra, para só então ser apresnetadas as amostras de uma classe diferente. Na segunda série de experimentos, as amostras foram intercaladas, variando-se também o número de amostras e a quantidade de amostras intercaladas.

Os dados foram normalizados, devido tratar-se de uma imagem de satélite (a normalização é necessária para não saturar a função de transferência - sigmoideal) onde os dados precisam variar entre 0 e 1, considerando o fator de normalização igual a 255, que é o maior valor de um nível de cinza.

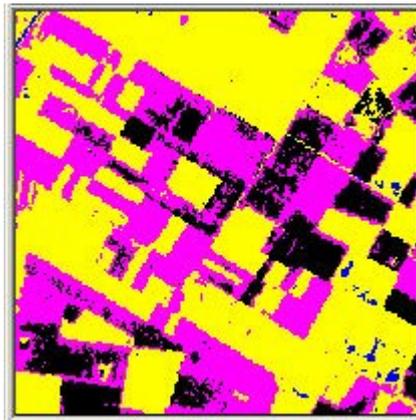
Na determinação da arquitetura da rede, considerou-se 30 neurônios na camada escondida. Neste experimento, foi utilizada uma taxa de aprendizado igual a 0,2 e o momento igual a 0,9.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. VERIFICAÇÃO DA EFICIÊNCIA DO ALGORITMO SEM ALTERNÂNCIA ENTRE AMOSTRAS

O processo de aprendizado foi detido depois de 21.141 ciclos de treino quando a rede encontrou o mínimo geral na superfície de erro, com 0,19697 de erro relativo. Após verificar esta convergência, fez-se a classificação de toda a imagem utilizando a mesma arquitetura de rede e os pesos determinados na fase de aprendizado. O resultado é mostrado na figura 4. Comparando este produto com a imagem de referência (Figura 3), nesta classificação foi constatado que 51% dos pixels encontram-se corretamente classificados.

FIGURA 4 - CLASSIFICAÇÃO SEM VARIAÇÃO DAS CLASSES NA ENTRADA DA REDE



5.2. A INFLUÊNCIA DA ALTERNÂNCIA DE AMOSTRAS NAS CLASSES.

Realizaram-se testes variando a quantidade de amostras para cada classe e intercalando as mesmas, gerando assim suas frequências ou séries. Na entrada da rede foram colocadas seqüências de séries de classes. Na Tabela 1 encontra-se um resumo dos testes realizados com as amostras na entrada da rede. Por exemplo, no primeiro experimento desta série (teste 1, na tabela 1), 120 amostras foram escolhidas para cada classe, sendo elas intercaladas por classe. No segundo experimento, apenas 60 amostras foram escolhidas para cada classe e elas foram intercaladas em pares.

Comparando os resultados dos testes da Tabela 1, observa-se que o teste 4 foi aquele que gerou a maior melhora na classificação, visto que o erro na imagem de referência foi de 28%, ou seja, a imagem gerada teve uma classificação de 72% de acertos (Figura 5). Também observa-se, para o experimento 4, que o número de ciclos foi menor que o número de ciclos que gerou a imagem sem a alternância de classes, isto justifica-se não só a alternância entre classes mas também devido a quantidade de amostras necessária para o aprendizado da rede ser menor.

Como exemplo, no teste 3, o total de amostra é de 120. Sendo 10 amostras por classe, como no caso em estudo temos 6 classes, tendo um total de 60. As Classes

foram repetidas (séries ou frequência) 2 vezes perfazendo um total de 120 amostras a serem processadas pela Rede Neural.

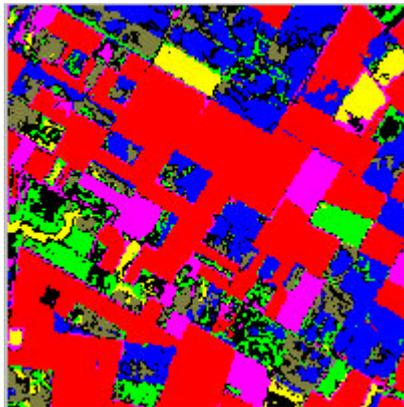
TABELA 1 – TABELA REFERENTE AOS TESTES EXECUTADOS VARIANDO O NÚMERO DE AMOSTRAS E INTERCALANDO AS AMOSTRAS.

Testes	Total de amostras	Amostra/ Classe	Séries ou Frequências	Erro na Imagem referência (%)	Total de Ciclos
1	720	120	1	49	21000
2	720	60	2	49	3000
3	120	10	2	31	3000
4	120	5	4	28	13000
5	90	5	3	29	10000
6	96	4	4	29	9000
7	72	3	4	31	23000
8	72	12	1	67	15000

Observa-se, na Tabela 1, que quando fixamos o número de amostra, para o teste 1 e 2 (um valor relativamente alto de amostras), notamos a irrelevância no resultado final da classificação tendo um erro na imagem de referência igual a 49%. Quando diminuimos a quantidade de amostra, para o teste 3, e mantivemos o número de séries, observa-se uma melhoria significativa no resultado final. Notamos que ao aumentar a quantidade de séries, a quantidade de amostras por classe diminui (testes 4, 5 e 6), tendo assim uma melhoria no aprendizado da rede. Porém quando, diminuimos novamente o número de amostras para o teste 7, percebemos que o erro na imagem de referência aumentou, igualando-se ao erro encontrado no teste de número 3 apesar da diferença na quantidade de amostras e séries. Observa-se, para o teste 8, que para um número de amostras pequeno e a não alternância das classes, resultaram em um erro na imagem de referência de 67%. Logo concluímos que a convergência na classificação final está relacionada com o número de séries impostas para a rede. Portanto conclui-se que:

- Quando se tem muita amostra na entrada da rede, satura-se o aprendizado, além de deixá-la muito lenta.
- Quanto menor o número de amostras melhor o resultado da classificação final, isto acompanhado das respectivas séries. Porém temos que observar que 1 amostra equivale a 1 pixel e portanto necessitamos de um mínimo, neste caso, de 5 pixel para ter uma área representativa na imagem.

FIGURA 5 - IMAGEM GERADA COM A VARIAÇÃO DAS CLASSES NA ENTRADA DA REDE.



6. CONCLUSÃO

Conclui-se que a alternância entre classes na entrada da rede é recomendada, sendo ela responsável por uma melhoria de até 20% na classificação final da imagem digital oriunda do sensoriamento remoto e também que a alternância de classes na entrada da rede leva a otimizar o aprendizado da rede assim como diminuir a quantidades de amostras para seu treinamento.

O algoritmo da retropropagação, implementado (nesse estudo) por meio do programa intitulado MULTIBACK, para a classificação de imagens digitais é eficiente devido a possibilidade de se poder variar os neurônios da camada intermediária, bem como a variação das taxas de aprendizado e do termo “Momento” e ainda o usuário poder interferir na alternância das amostras.

7. REFERÊNCIAS

ABELÉM, A. J. G., **Redes Neurais Artificiais Na Previsão De Séries Temporais**, publicação Dissertação de Mestrado pela Universidade Católica do Rio de Janeiro, RJ, Brasil, p.157, 1994.

ANDRADE, F. A. **Integração de variáveis espectrais e forma na classificação de imagens de alta resolução utilizando redes neurais artificiais**. Dissertação de mestrado pela Universidade Federal do Paraná, Curitiba, p.120, 2003.

BAKKER, B. e HESKES, T. **Clustering ensembles of neural network models.** *Neural Networks*, v.16, p.261-269, 2003.

DYMINSKI, A.S. **Análise de Problemas Geotécnicos Através de Redes Neurais.** *Rio de Janeiro.* (Tese) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, p.196, 2000.

FERNÁNDEZ – CABALLERO et al. **On Motion Detection Through a Multi-Layer Neural Network Architecture.** *Neural Networks*, v.13, p.291-303, 2000.

FOODY, C.M. ; MCCULLOCH, M. B. ; YATES, W.B. **Classification of remote sensed data by an artificial neural network: issues related to training data characteristics.** *Photogrametric Engineering & Remote Sensing*, v.61, n.4, p.391–401, 1995.

HAYKIN, S. **Redes Neurais. princípios e prática.** Porto Alegre: Bookman, p. 900, 2001.

JI, C.Y. **Land-Use Classification of Remotely Sensed Data Using Kohonen Self-Organizing Feature Map Neural Networks.** *Photogrametric Engineering & Remote Sensing*, v.66, n.12, p.1451– 1460, 2000.

KINOSHITA, S.K.; MARQUES, P.M.A. e FRÈRE, A.F. **Utilização da Análise de Componentes Principais e Redes Neurais Artificiais para a Classificação de Nódulos em Mamogramas Digitalizados.** *Anais do CBEB'2000*, p.1214-1216, 2000.

MARTINS, M. P. GUIMARÃES, L. N. F. E FONSECA, L. M. G. **Classificador de Texturas por Redes Neurais.** II Congresso Brasileiro de Computação, p.6, 2002.

OLIVEIRA, K. C. e BAUCHSPIESS A. **Classificação de Imagens Codificadas por Cadeias Direcionais Utilizando Redes Neurais Artificiais.** V Congresso Brasileiro de Redes Neurais, PUC, Rio de Janeiro – RJ –Brasil, p. 73-78, 2001.

RIBEIRO, S. R. A. e CENTENO, J.A.S. **Classificação do uso do solo utilizando redes neurais e o algoritmo maxver,** in INPE/SELPER (Ed.), *Anais do XX Simpósio brasileiro de sensoriamento remoto*, p. CD, Foz do Iguaçu, INPE, 2001.

RIBEIRO, S. R. A.; BÄHR, H. P. e CENTENO, J. S. **Integração de imagens de satélite e dados complementares para a delimitação de unidades de paisagens usando uma abordagem baseada em regiões.** *Boletim de Ciências Geodésicas*, Curitiba, v.8, nº1, p.47-57, 2002.

TONDER, G. J. e EJIMA, Y. **The patchwork engine: imagem segmentation from shape symmetries.** *Computers & Geosciences*, v.13, p.291-303, 2000.

TORINO, C. V. e BARRETO, D. T. Detecção de Fumaça Através do Processamento de Imagem Utilizando Redes Neurais em um Sistema Híbrido. XIV Congresso Brasileiro de Automática, Natal – RN, p.1434-1439, 2002.

VIEIRA, C. A. O. Accuracy Of Remotely Sensing Classification Of Agricultural Crops: A Comparative Study. Thesis Submitted to the University of Nottingham for the Degree of Doctor of Philosophy, p.396, 2000.

YILMAZ, S.; DEMIRCIOGLU, C. E AKIN, S. Application de artificial neural networks to optimum bit selection. Computers & Geosciences, v.28, p.261-269, 2002.

DESENVOLVIMENTO DE TÉCNICA DE MAPEAMENTO PLANIMÉTRICO CADASTRAL DE RODOVIAS UTILIZANDO-SE DA MONORESTITUIÇÃO E IMAGENS DIGITAIS PROVENIENTES DE CÂMARA DE VÍDEO E HELICÓPTERO

Prof. Edson A. Mitishita¹
Eng. Vilmar Faria Silva²
Eng. Sérgio José Trevizan²
Com. Aviador Jorge Sikorski²

- 1 Universidade Federal do Paraná - Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas - mitishit@geoc.ufpr.br
- 2 Geobusines Brasil – Sikorski Aerocinematografia - geobb@geobb.com.br

RESUMO

O desenvolvimento de procedimentos fotogramétricos analíticos, baseados em imagens digitais, tem permitido uma maior utilização prática, de imagens provenientes de sensores aerotransportados não convencionais. Atualmente, as câmaras digitais de vídeo e de pequeno formato apresentam maiores resoluções espaciais, menores preços e facilidades de aquisição. Estas condições, possibilitam que pequenas empresas de engenharia, num futuro próximo, venham implementar técnicas fotogramétricas de obtenções de informações espaciais métricas da superfície terrestre. Dependendo da dimensão da área a ser trabalhada e exatidões geométricas requeridas no projeto de engenharia, esta tecnologia possui vantagens quando comparadas com as técnicas convencionais, baseadas em imagens provenientes de câmaras métricas.

A utilização de recobrimento aéreo de baixa altitude, com a utilização de plataformas não convencionais (ultraleve, aeromodelos, balões) e a técnica de monorestituição, integram soluções de baixo custo, perfeitamente viáveis em várias aplicações de obtenção de informações da superfície terrestre nos dias atuais.

Atualmente, uma das dificuldades existente na implantação prática desta tecnologia está ligada com a carência de recursos humanos qualificados, a fim de implementar a correta adequação e integração do processo nas necessidades de um projeto de engenharia.

Procurando dar continuidade nas pesquisas realizadas no Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas no desenvolvimento de procedimentos de mapeamento de

baixo custo e formação de recursos humanos qualificados, apresentam-se, neste trabalho o desenvolvimento de técnicas e os resultados obtidos da aplicação da Monorestituição no mapeamento planimétrico cadastral de rodovias, com a utilização de imagens obtidas de um recobrimento aéreo realizado com helicóptero e câmara de vídeo.

Palavras-chave: Monorestituição; Câmara de vídeo; Mapeamento planimétrico

ABSTRACT

The development of analytic photogrammetric procedures, based on digital images, has been allowed to use a larger practical non-metric digital image obtained from low cost aerial sensors. Nowadays, the digital video cameras and small format cameras have larger resolutions, smaller prices and facility acquisition means. These conditions facilitate that small engineering companies, in a close future, come to implement photogrammetric technical of acquire metric information of Earth surface. Depending on the dimension of the area to be worked and geometric accuracies requested in the engineering project, this technology has advantages when compared with the conventional techniques, based on coming images of metric cameras.

The use of aerial recover of low altitude, with the use of non conventional platforms (light aircraft, model aircraft, balloons) and the mono-plotting technique, they integrate low cost solutions, perfectly viable in several applications of obtaining of information of the terrestrial surface in the nowadays.

Today, there is a difficulty in the practical used of this technology, because don't have a lot of better human resources, in order to implement the correct adaptation and integration of the process in the needs of an engineering project.

Trying to give continuity in the researches accomplished in the Course of Masters degree in Geodesic Sciences, University Paraná – Brazil, in the development of procedures of low cost mapping and graduated of qualified human resources, showing in this paper the implemented procedures and the obtained results of the application of mono-plotting in the cadastral planimetric mapping of highways, with the use of obtained images of an aerial cover accomplished with helicopter and video camera.

Keywords: Mono-plotting; Video Camera; Planimetric Mapping

1. INTRODUÇÃO

A utilização de câmaras de vídeo digitais na obtenção de imagens da superfície terrestre, apresenta vantagens em relação a outros tipos de sensores, tais como: rápida análise e processamento das imagens capturadas, imagem contínua da região de interesse, facilidade na escolha das imagens a serem trabalhadas e menor custo na obtenção das imagens, como pode ser visto em WRIGHT (1993). Por outro lado, verifica-se como principais desvantagens à baixa resolução espacial, ainda disponível nas câmaras de vídeo convencionais, a pequena área de recobrimento existente em cada imagem e instabilidade dos parâmetros geométricos da imagem. Estas características têm direcionado a utilização deste sensor nas aplicações de reconhecimento e obtenção de informações não métricas da superfície terrestre.

O desenvolvimento de procedimentos fotogramétricos analíticos, baseados em imagens digitais, tem permitido uma maior utilização prática, de imagens provenientes de sensores aerotransportados não convencionais. Associado com o rápido avanço tecnológico das câmaras digitais de vídeo, no que se refere ao aumento da resolução espacial, maior estabilidade na obtenção das imagens e preço cada vez mais acessível, justificam a pesquisa de procedimentos que se utilizam desta tecnologia, para a obtenção de informações métricas da superfície terrestre. Técnicas e modelagens matemáticas implementadas, mostrando a viabilidade da utilização de câmaras de vídeo no mapeamento fotogramétrico podem ser vistas em MAGRO (1995), HASEGAWA e CAMARGO (1998) e MITISHITA et al. (2001^A), MITISHITA et al. (2001^B).

A integração da técnica da monorestituição digital com imagens de vídeo pode ser uma alternativa viável e de baixo custo na obtenção do mapeamento planimétrico em vários trabalhos das engenharias. As dimensões da área a ser mapeada e a exatidão geométrica das informações espaciais obtidas são as condições a serem estabelecidas para a utilização prática desta tecnologia.

O objetivo deste trabalho é mostrar a viabilidade prática e operacional da integração da monorestituição e imagens de vídeo na realização do mapeamento planimétrico cadastral de rodovias na escala de 1/5.000. Apresentam-se os procedimentos implementados e resultados obtidos no desenvolvimento desta metodologia, com a utilização de uma câmara de vídeo marca HITACHI, modelo ½ inch IT CCD HV-C10A, com resolução de 682 x 492 “pixels”, a bordo de um helicóptero ROBINSON R-44 NEWSOPTER, ver maiores detalhes em MITISHITA et al. (2001^A). As principais etapas de trabalho implementadas foram: realização da cobertura da área de interesse, escolha das imagens de interesse, levantamentos de pontos de apoio, aerotriangulação, obtenção de informações altimétricas da região, monorestituição, obtenção do produto final e verificação da exatidão do procedimento proposto.

2. COBERTURA AÉREA E ESCOLHA DAS IMAGENS

Um trecho da rodovia BR-277, que liga Curitiba a Campo Largo, com extensão aproximada de um quilômetro foi tomado como sendo a área piloto para o desenvolvimento da metodologia proposta. Foi planejado recobrimento aéreo da rodovia na escala aproximada de 1/22.000 (altura de vôo aproximada de 800 pés). Nesta escala um “pixel” tem a dimensão linear aproximada de 0,44 metros. O lado maior da imagem (692 “pixels”) ficou com uma dimensão linear aproximada de 304 metros, permitindo o recobrimento, na parte central da imagem, das duas pistas de rolamento e as faixas de domínio de ambas as pistas. Noventa e duas imagens foram tomadas, em média trinta por segundo. Deste conjunto, foram selecionadas 13 imagens que permitiram cobrir toda a área teste com uma superposição longitudinal de 60% entre imagens. O recobrimento longitudinal entre fotos foi necessário para atender as condições geométricas para a execução da aerotriangulação. Informações mais detalhadas a respeito da forma de gravação e obtenção das imagens digitais provenientes desta câmara de vídeo podem ser obtidas em MITISHITA et al. (2001^A). A figura 01 mostra uma das imagens utilizadas nesta pesquisa.

FIGURA 01 – UMA DAS IMAGENS EMPREGADA NESTA PESQUISA



3. PARÂMETROS GEOMÉTRICOS DA CÂMARA

Empregou-se um procedimento de calibração de câmaras para determinar os parâmetros geométricos necessários à reconstrução matemática da geometria projetiva das imagens digitais provenientes da câmara de vídeo. O método das Câmaras Convergentes foi o procedimento utilizado para a calibração da câmara de vídeo. Maiores informações sobre este método de calibração podem ser encontradas

em ANDRADE e OLIVAS (1981); ANDRADE e MITISHITA, (1998); MITISHITA e OLIVAS, (2001).

Os parâmetros geométricos determinados no processo de calibração realizado são apresentados na tabela 01. Resultados mais detalhados podem são obtidos em MITISHITA et al. (2001^A).

TABELA 1 – PARÂMETROS GEOMÉTRICOS DA CÂMARA

Distância Focal Calibrada e Parâmetros de Distorção Radial e Descentrada	
Parâmetro	Valores Calculados
c'	11,944 mm
k'_0	4,11149826e-02
k'_1	-1,02847499e-03 mm ⁻²
k'_2	6,15679557e-06 mm ⁻⁴
k'_3	-4,08448679e-08 mm ⁻⁶
P_1	1,87836798e-03 mm ⁻²
P_2	-1,23952038e-06 mm ⁻²

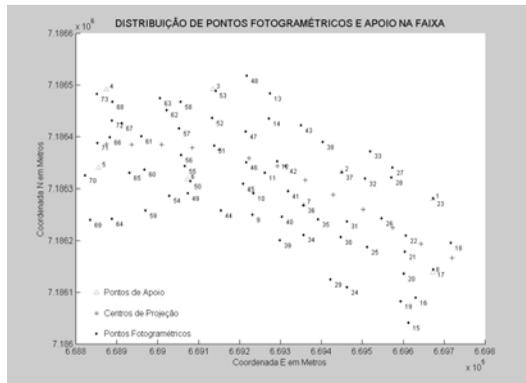
4. AEROTRIANGULAÇÃO

Um maior número de pontos de apoio, pode ser considerado como sendo uma das dificuldades existente na implementação prática do mapeamento planimétrico com a utilização de imagens digitais provenientes de câmara de vídeo e monorestituição. Devido à pequena área coberta por uma imagem de vídeo que é função da resolução do “pixel” no terreno e a resolução espacial da câmara, geralmente tem-se a necessidade de um grande número de imagens para a cobertura da área a ser mapeada. A realização da aerotriangulação por ajustamento simultâneo de imagens pode ser uma alternativa para a solução do problema, pois neste processo são determinados os parâmetros geométricos, necessários a orientação exterior das imagens a serem monorestituídas.

A faixa composta por treze imagens digitais foi aerotriangulada. Para este processo, foram planejados e definidos os pontos fotogramétricos próximos as posições estabelecidas por “Von Gruber”. Estes pontos foram detalhes naturais nítidos existentes nas imagens, que apresentavam facilidades de identificação e leitura, resultado para toda a faixa um conjunto de sessenta e cinco pontos. Oito pontos de apoio com separação aproximada de três bases foram planejados na faixa.

A figura 02 mostra a distribuição espacial dos pontos fotogramétricos, centros de projeção e pontos de apoio existentes na faixa.

FIGURA 02 – DISTRIBUIÇÃO DE PONTOS FOTOGAMÉTRICOS, CENTROS DE PROJEÇÃO E APOIO NA FAIXA



4.1 OBSERVAÇÕES FOTOGAMÉTRICAS E CORREÇÃO DOS ERROS SISTEMÁTICOS

Os pontos fotogramétricos e de apoio foram identificados manualmente e lidos de forma monocular no Sistema Fotogramétrico Monorestituidor. Neste sistema fotogramétrico, visando aproximação da condição de colinearidade entre o ponto imagem, centro de projeção e ponto objeto, as observações foram parametrizadas dos erros sistemáticos da imagem, conforme a formulação matemática (1). Maiores detalhes podem ser obtidos em MITISHITA et al. (2001^B) e MITISHITA e MACHADO (1999).

$$xp = xf - xo - \Delta rxf - \Delta dx$$

$$yp = yf - yo - \Delta ryf - \Delta dy$$

$$xf = a.xg + b.yg + xo$$

$$yf = c.xg + d.yg + yo$$

$$\Delta r = (k'_0 + k'_1 r^2 + k'_2 r^4 + k'_3 r^6) \quad (1)$$

$$\Delta dx = P_1 (r^2 + 2x^2) + 2P_2 xy$$

$$\Delta dy = 2P_1 xy + P_2 (r^2 + 2y^2)$$

- $(xg \ yg)$ = Coordenadas no referencial gráfico;
 $(a \ b \ c \ d \ x_o \ y_o)$ = Parâmetros da transformação afim geral no plano;
 (x_p, y_p) = Coordenadas de pontos no referencial fotogramétrico;
 (x_f, y_f) = Coordenadas de pontos no referencial fiducial;
 (k'_0, k'_1, k'_2, k'_3) = Parâmetros da distorção radial simétrica;
 (P_1, P_2) = Parâmetros da distorção descentrada;
 (x_o, y_o) = Coordenadas do ponto principal no referencial fiducial;

4.2 AJUSTAMENTO SIMULTÂNEO DAS IMAGENS

Tendo todas as coordenadas dos pontos observados nas imagens, corrigidas dos erros sistemáticos e transformadas para o sistema de coordenadas fotogramétricas e as coordenadas dos pontos de apoio no referencial geodésico local, realizou-se o ajustamento simultâneo das imagens (MMQ), acrescido de injunções de posição nos pontos de apoio. A formulação matemática básica fundamenta-se nas equações 2 e 3. Maiores detalhes podem ser encontrados em ANDRADE (1998) e MITISHITA et al. (2001^B).

$$\begin{aligned}
 x_p &= -c \frac{m_{11}(X-X_o) + m_{12}(Y-Y_o) + m_{13}(Z-Z_o)}{m_{31}(X-X_o) + m_{32}(Y-Y_o) + m_{33}(Z-Z_o)} \\
 y_p &= -c \frac{m_{21}(X-X_o) + m_{22}(Y-Y_o) + m_{23}(Z-Z_o)}{m_{31}(X-X_o) + m_{32}(Y-Y_o) + m_{33}(Z-Z_o)}
 \end{aligned} \tag{2}$$

c = Distância focal da câmara;

(X_o, Y_o, Z_o) = Coordenadas da estação de exposição;

$[X \ Y \ Z]^T$ = Coordenadas de pontos no referencial geodésico local;

m_{ij} = Elementos da matriz de rotação $(R(\chi).R(\varphi).R(\omega))$

Nos pontos de apoio são aplicadas injunções de posição que permitem fixar as suas coordenadas em função da precisão das mesmas. A formulação matemática desta injunção é dada por:

$$\begin{aligned}
 X_{go} &= X_g \\
 Y_{go} &= Y_g \\
 Z_{go} &= Z_g
 \end{aligned} \tag{3}$$

$(X_{go} Y_{go} Z_{go}) =$ Coordenadas observadas de ponto de apoio

$(X_g Y_g Z_g) =$ Coordenadas calculadas de pontos de apoio

4.3 RESULTADOS OBTIDOS NO AJUSTAMENTO

A faixa foi composta por sessenta e cinco (65) pontos fotogramétricos e oito (08) pontos de apoio planialtimétrico. Foram admitidas como precisões para as observações fotogramétricas o valor de 0,020 mm ($\sigma^2x=\sigma^2y= 0,020$) e para as coordenadas geodésicas nos pontos de apoio o valor de 0,50 metros ($\sigma^2X=\sigma^2Y=\sigma^2Z=0,50$).

Admitiu-se a variância da unidade de peso à priori (σ_p) como sendo igual a 1,0, após sete iterações obteve-se a convergência estabelecida, resultando uma variância da unidade de peso calculada (σ_{po}) igual a 1,075. Os resíduos nos pontos de apoio são apresentados na tabela 02.

TABELA 02 – RESÍDUOS NOS PONTOS DE APOIO

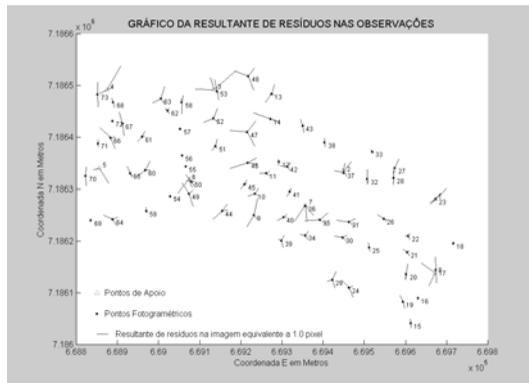
RESÍDUOS NOS PONTOS DE APOIO			
Nº do PTO	Resíduo X (m)	Resíduo Y (m)	Resíduo Z (m)
1	0,889	0,291	0,038
2	0,288	0,829	-0,107
3	0,155	1,107	-0,097
4	0,535	0,846	-0,075
5	0,137	-0,810	0,008
6	-0,235	-1,027	0,098
7	-0,660	-1,595	0,217
8	-1,109	0,359	-0,082

Médias de resíduos absolutos nos pontos de apoio: $RX= 0,501$ m; $RY= 0,858$ m; $RZ= 0,090$ m;

Desvios padrões dos resíduos médios absolutos: $\sigma_{RX}= 0,362$ m; $\sigma_{RY}= 0,415$ m; $\sigma_{RZ}= 0,061$ m;

A faixa foi aerotriangulada com duzentos e sete (207) observações fotogramétricas, sendo treze (13) pontos definidos com duas, cinquenta e nove (59) com três e um (01) com quatro. As resultantes dos resíduos nas imagens, provenientes do ajustamento MMQ realizado, podem ser visualizadas na figura 03.

FIGURA 03 – GRÁFICO DA RESULTANTE DOS RESÍDUOS NAS OBSERVAÇÕES FOTOGRAMÉTRICAS REALIZADAS



Médias de resíduos absolutos nas observações fotogramétricas: $R_x = 0,007$ mm e $R_y = 0,008$ mm;

Desvios padrões das médias: $\sigma R_x = 0,008$ mm e $\sigma R_y = 0,006$ mm;

Máximos resíduos absolutos nas observações fotogramétricas: $R_{x_{\max}} = 0,041$ mm e $R_{y_{\max}} = 0,035$ mm;

Na tabela 03 são apresentados os valores dos parâmetros de orientação exterior das imagens pares e as precisões determinadas no ajustamento.

TABELA 03 – MOSTRA OS PARÂMETROS DE ORIENTAÇÃO EXTERIOR E SUAS PRECISÕES DETERMINADAS NO AJUSTAMENTO

PARÂMETROS DE ORIENTAÇÃO EXTERIOR E PRECISÕES DETERMINADAS						
IMAGEM	X_0 (m)	Y_0 (m)	Z_0 (m)	ω (graus)	φ (graus)	χ (graus)
02	669573,623 $\sigma_{x_0} = 3,07249$	7186225,233 $\sigma_{y_0} = 3,41848$	1154,174 $\sigma_{z_0} = 1,29657$	-1,23345 $\sigma_{\omega} = 0,22838$	4,18195 $\sigma_{\varphi} = 0,66818$	158,75500 $\sigma_{\chi} = 0,18729$
04	669501,892 $\sigma_{x_0} = 2,96049$	7186260,408 $\sigma_{y_0} = 3,26343$	1157,702 $\sigma_{z_0} = 1,35148$	1,44172 $\sigma_{\omega} = 0,68554$	4,52518 $\sigma_{\varphi} = 0,59997$	158,59910 $\sigma_{\chi} = 0,15205$
06	669360,297 $\sigma_{x_0} = 3,10047$	7186316,287 $\sigma_{y_0} = 2,80614$	1162,013 $\sigma_{z_0} = 1,18790$	0,44479 $\sigma_{\omega} = 0,56792$	2,54317 $\sigma_{\varphi} = 0,62706$	161,64199 $\sigma_{\chi} = 0,16293$
08	669222,935 $\sigma_{x_0} = 3,08772$	7186359,083 $\sigma_{y_0} = 2,41328$	1163,116 $\sigma_{z_0} = 1,44416$	3,96809 $\sigma_{\omega} = 0,47891$	2,35506 $\sigma_{\varphi} = 0,63721$	162,80192 $\sigma_{\chi} = 0,16101$
10	669083,687 $\sigma_{x_0} = 3,11448$	7186378,759 $\sigma_{y_0} = 3,25361$	1165,482 $\sigma_{z_0} = 0,97562$	1,16864 $\sigma_{\omega} = 0,66711$	2,47111 $\sigma_{\varphi} = 0,66513$	172,27816 $\sigma_{\chi} = 0,16314$
12	668939,447 $\sigma_{x_0} = 3,38393$	7186385,161 $\sigma_{y_0} = 3,08880$	1165,509 $\sigma_{z_0} = 0,99100$	-1,86006 $\sigma_{\omega} = 0,63355$	1,62468 $\sigma_{\varphi} = 0,71308$	177,84628 $\sigma_{\chi} = 0,18472$

Analisando-se os resultados provenientes do ajustamento, verifica-se que os resíduos nas observações fotogramétricas e pontos de apoio encontram-se dentro dos limites de erros esperados.

Adotando-se como referência o erro padrão, que tem o intervalo de confiança de $\pm \sigma$ ou ± 1 desvio padrão e tomando-se a dimensão do “pixel” o valor de 0,020 mm, os valores médios de resíduos absolutos em fotocoordenadas (R_x e R_y) e seus desvios padrões obtidos (σR_x e σR_y), verifica-se que 68,27% dos pontos fotogramétricos tiveram resíduos abaixo de $3/4$ “pixel”.

No caso dos resíduos planimétricos nos pontos de apoio, aceita-se como valor tolerável, em aerotriangulação de vôo métrico e pontos não pré-sinalizados, o valor de 0.050 mm na escala da foto. Para a escala em questão, temos o valor de 1,10 m no terreno. Analisando-se os resíduos obtidos nos pontos de apoio, verifica-se, tanto no eixo X, como no Y que 87,5% dos pontos de apoio, tiveram resíduos dentro do limite admissível.

Para os resíduos altimétricos, o valor tolerável é de 0,030 mm na escala da foto, o que corresponde para a escala em questão o valor de 0,66 m. Analisando-se os resíduos obtidos, temos que 100% dos estão dentro dos limites estabelecidos.

Os limites de erros planimétricos e altimétricos, estabelecidos para vôos métricos neste trabalho, são práticos e fundamenta-se na acuidade do operador em realizar uma leitura num detalhe fotogramétrico natural.

5. INFORMAÇÃO ALTIMÉTRICA

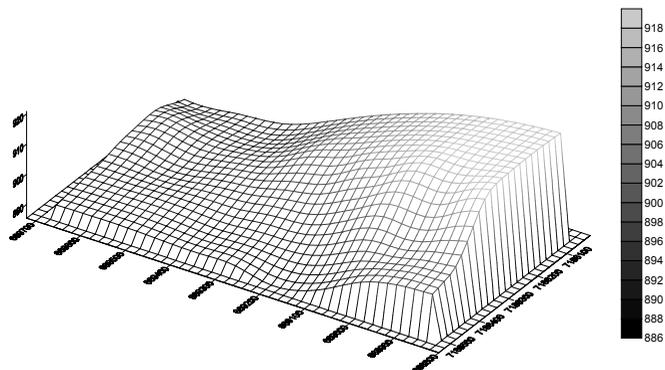
Ter um conjunto de pontos que descrevem o relevo da região a ser mapeada é uma das condições necessárias para a aplicação da monorestituição, como pode ser visto em MITISHITA, (1997).

A variabilidade de relevo ao longo de uma rodovia, geralmente se dá de forma contínua e com gradiente não muito acentuado. Nas laterais que compreendem o acostamento e uma pequena parte da faixa de domínio, apresenta conformação relativamente plana. Em função destas características e da precisão necessária para o mapeamento planimétrico a ser obtido, a quantidade de pontos de controle necessários para a caracterização do relevo pode ser minimizada. Para se ter uma melhor definição do relevo na faixa de domínio, onde se encontram os elementos planimétricos a serem restituídos, foi realizada a varredura monoscópica, ver TREVIZAN e MITISHITA (2001), que determinou duzentos e trinta e cinco (235) pontos planialtimétricos nesta região.

Neste trabalho, utilizando-se o programa SURFER 7.0 e algoritmo de interpolação Kriging linear, Ver SURFER (1999), foi gerada a malha regular, com espaçamento de 20 metros entre pontos, com base nos pontos fotogramétricos provenientes da aerotriangulação, pontos de apoio e pontos da varredura monoscópica. A malha regular gerada apresentou 1206 pontos, contendo valores de altitudes mínima, máxima e média, respectivamente de 883,154, 921,297 e 895,942

metros. A figura 04 mostra uma representação gráfica tridimensional da superfície espacial, obtida matematicamente.

FIGURA 04 – REPRESENTAÇÃO GRÁFICA TRIDIMENSIONAL DA REGIÃO



6. MONORESTITUIÇÃO

A monorestituição pode ser definida como um procedimento fotogramétrico que possibilita a obtenção de mapeamento planimétrico digital a partir da digitalização vetorial e monoscópica de entidades existentes na imagem.

Tendo-se os parâmetros de orientação exterior das imagens, determinados na aerotriangulação e malha regular de pontos que define a conformação relevo existente na região, realizou-se três etapas básicas de trabalho no processo de monorestituição. Do conjunto das treze (13) imagens aerotrianguladas, foram selecionadas as imagens pares para a monorestituição.

6.1 DIGITALIZAÇÃO DAS ENTIDADES DE INTERESSE

Com sistema gráfico MicroStation PC e programa Iras/C, a imagem digital foi posta no vídeo com a escala visualização que foi possível digitalizar as entidades planimétricas de interesse. Utilizando-se os comandos de criação de elementos gráficos, realizou-se a digitalização vetorial das pistas de rolamentos, acostamentos, canteiros, vias de acesso, trevos, pontos cotados e principais obras feitas pelo homem, existentes na faixa de domínio da rodovia. A figura 08 mostra as entidades planimétricas monorestituídas.

6.2 RETIFICAÇÃO DO ARQUIVO VETORIAL

Utilizando-se o sistema Monorestituídor Digital, ver MITISHITA e MACHADO (1999), esta etapa de trabalho, consistiu na retificação dos arquivos vetoriais provenientes da digitalização realizada nas imagens de selecionadas. Trata-se da aplicação de um conjunto de transformações de coordenadas entre os espaços da imagem e da superfície do modelo de referência e superfície de projeção. O modelo matemático básico está fundamentado na transformação de coordenadas fotogramétricas (x_p, y_p) , de pontos observados na imagem, para o referencial geodésico cartesiano tridimensional local (X_L, Y_L, Z_L) , utilizando-se das equações de colinearidade inversa (05) e de modelamento matemático de superfícies (D.T.M. – “digital terrain model”), ver maiores detalhes em MAKAROVIC, (1973) e MITISHITA, (1997).

$$X_L = X_o + (Z_L - Z_o) \frac{m_{11} x_{p+m} + m_{21} y_{p+m} + m_{31} c}{m_{13} x_{p+m} + m_{23} y_{p+m} + m_{33} c} \quad (05)$$

$$Y_L = Y_o + (Z_L - Z_o) \frac{m_{12} x_{p+m} + m_{22} y_{p+m} + m_{32} c}{m_{13} x_{p+m} + m_{23} y_{p+m} + m_{33} c}$$

4.2 OBTENÇÃO DO PRODUTO FINAL

Esta fase dos trabalhos é conhecida nas empresas de produção cartográfica como Edição Gráfica. Consistiu na execução de procedimentos finais que levem a geração das cartas, dentro de uma articulação pré-estabelecida. Os principais trabalhos realizados são a ligação dos arquivos gráficos retificados provenientes das imagens trabalhadas, correções de quebras de elementos gráficos, adequações de cores e simbologias gráficas, toponímia dos elementos gráficos restituídos, inserção do reticulado de coordenadas e legenda apropriada. A figura 09 mostra o produto final obtido nesta pesquisa.

7. VERIFICAÇÃO DA EXATIDÃO DO MAPEAMENTO REALIZADO

Visando a verificação da exatidão planimétrica do mapeamento realizado, foram definidos dez (10) pontos de controle por toda a área restituída, conforme a distribuição espacial mostrada na figura 05. Estes pontos foram detalhes pontuais

restituídos e que possuíam identificação precisa na carta digital monorestituída. As coordenadas planimétricas destes pontos foram retiradas da carta e determinadas por um levantamento geodésico GPS. Os resultados obtidos da comparação entre as duas coordenadas (DX, DY – diferenças entre as coordenadas nos pontos de controle, R_{DXDY} – resultante planimétrica das diferenças) são apresentados na tabela 04.

TABELA 04 – MOSTRA AS DIFERENÇAS DE COORDENADAS OBTIDAS NOS PONTOS DE CONTROLE

DIFERENÇAS NOS PONTOS DE CONTROLE			
Ponto	DX (metros)	DY (metros)	R_{DXDY} (metros)
1	-1,313	3,305	2,653
2	-1,406	-2,490	2,049
3	-0,600	0,612	0,857
4	0,955	2,967	3,117
5	-0,558	-0,836	1,005
6	2,617	-1,437	2,986
7	2,172	-0,394	2,207
8	-0,248	0,217	0,330
9	1,750	2,022	2,674
10	0,078	-0,245	0,257
Média (abs)	1,170	1,253	1,813
Desvio padrão	0,837	0,951	1,102

FIGURA 05 – DISTRIBUIÇÃO DOS PONTOS DE APOIO E CONTROLE E DISCREPÂNCIAS OBTIDAS NA CARTA



Considerando a escala média (1/22000) das imagens trabalhadas e condição prática de empregar um fator de ampliação de até três vezes, verifica-se, nesta

condição que a escala da carta a ser obtida, pode variar entre o valor de 1/5000 a 1/10000.

A exatidão de um mapeamento planimétrico pode ser verificada pelas condições apresentadas no Decreto 89.817 de 20 de junho de 1984, que trata do Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) para mapeamentos no território nacional. Neste decreto, as cartas são classificadas em A, B e C, de acordo com o PEC em milímetros na escala da carta, respectivamente de 0,5, 0,8 e 1,0. O Decreto também estabelece no seu artigo 8º que 90% dos pontos bem definidos numa carta, quando comparados com o terreno não deverão apresentar erro superior ao Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC). As figuras 06 e 07 apresentam os resultados obtidos na avaliação do PEC de acordo com o Decreto 89.817.

FIGURA 06 – VERIFICAÇÃO DO PEC NA ESCALA DE 1/5000

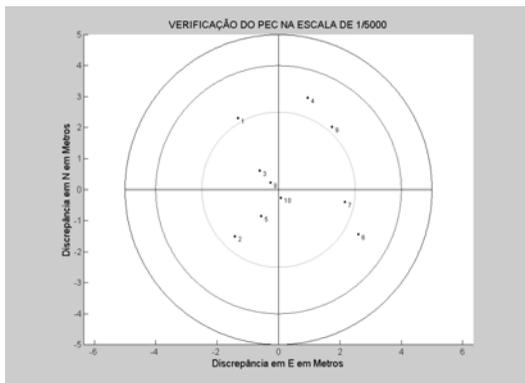
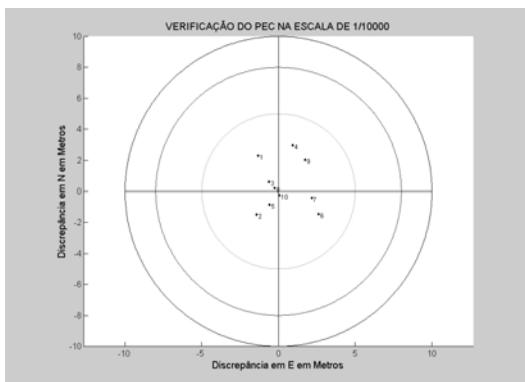


FIGURA 07 – VERIFICAÇÃO DO PEC NA ESCALA DE 1/10000



Nas figuras 06 e 07 são apresentados círculos concêntricos que representam os limites do PEC nas classificações das cartas A, B e C, nas escalas de 1/5.000 e 1/10.000. Pelos resultados obtidos pode-se verificar que as discrepâncias estão bem distribuídas e sem nenhuma tendência, mostrando uma distribuição normal nos valores obtidos. Verifica-se também, que na escala de 1/5.000 a exatidão obtida possibilita a classificação de uma carta na classe B e na escala de 1/10.000 a classificação na classe A.

De acordo com as condições práticas apresentadas, a escala mais recomendada para a carta a ser obtida a partir da escala das imagens trabalhadas, estaria no máximo na escala de 1/7.000. Nesta condição, a exatidão alcançada classificaria a carta na classe A. Entretanto, esta escala não se enquadra nos padrões práticos de produção e utilização nacional.

8. CONCLUSÕES

Neste trabalho foram apresentadas as etapas de pesquisas realizadas, visando o desenvolvimento de uma metodologia de baixo custo para fins de mapeamento planimétrico de rodovias, baseado na utilização da Monoresituição de imagens digitais provenientes de uma câmara de vídeo a bordo de um helicóptero.

Os resultados experimentais são animadores e mostram viabilidade do processo implementado. Foram verificadas as seguintes considerações:

- A cobertura aérea com helicóptero e câmara de vídeo visando o mapeamento de rodovias aplica-se de forma adequada, tendo em vista a característica geométrica da cobertura (faixa isolada, sinuosidade, baixa altura de vôo, visualização contínua a área de interesse e facilidade de escolha das imagens de interesse);
- Levando-se em conta os preços, atualmente existentes, para o filme aéreo e o processo de revelação, o custo para a realização da cobertura com a câmara de vídeo é menor em relação à cobertura área com câmaras fotogramétricas métricas;
- Levando-se em conta a câmara de vídeo utilizada, a escala média empregada (1/22.000) para as imagens foi adequada para a visualização das entidades planimétricas de interesse para o mapeamento e o recobrimento da área de domínio da rodovia;
- Os resíduos nas observações fotogramétricas e pontos de apoio, resultantes no processamento da aerotriangulação com a utilização das imagens de vídeo, mostraram precisões internas equivalentes ao processamento de uma aerotriangulação com imagens de câmaras métricas;

- Os resultados encontrados nos pontos de controle (verificação) mostram uma exatidão planimétrica do processo, aproximadamente duas vezes menor que a precisão obtida no processamento da aerotriangulação;
- Considerando do Decreto lei 89.817 e a exatidão planimétrica obtida nos pontos de controle (verificação) permitem classificar o mapeamento planimétrico realizado, na classe B para a escala de 1/5.000 e classe A para a escala de 1/10.000;
- A exatidão planimétrica obtida pela técnica da monorestituição depende de forma direta da exatidão da informação altimétrica que descreve o relevo da região a ser mapeada. A técnica empregada neste trabalho para a obtenção das informações altimétricas mostrou ser capaz de alcançar exatidão necessária à realização do processo.

9. REFERÊNCIAS

ANDRADE, José, B.; OLIVAS, Mary A. A. Calibração de Câmaras Aerofotogramétricas. **Boletim De Ciências Geodésicas, Curso De Pós-Graduação Em Ciências Geodésicas, UFPR**. Curitiba: N. 26, p. 01-39, 1981.

ANDRADE, José, B.; MITISHITA, Edson A. System Calibration Versus Phogrammetric Refraction. **In: 16th International Congress Of International Society For Photogrammetry And Remote Sensing. Kyoto: 1988**. Proceedings: Anais... Kyoto : ISPRS, V. 27, Part B8, p. 42- 49 , 1988.

ANDRADE, José B. **Fotogrametria**. [s.l]: SBEE, 1998.

HASEGAWA, Júlio K. A.; CAMARGO Paulo O. Mapeamento com filmadora: uma análise de viabilidade. **3º Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico e Multifinalitário. Florianópolis, 1998**. Anais do Congresso . Florianópolis: [s.n], 1998. 1 CD-ROM.

MAGRO, Francisco H. S. Videogrametria. **Cartografia e Cadastro**, Nº 3 Dezembro de 1995.

MAKAROVIK, B. Digital Mono-Plotters. **I.T.C. Journal**, Vol. 1 p. 101-122, 1973.

MAUSEL, P. W.,EVERITT, J. H.; ESCOBAR, D. E., KING, D.J. Airborne videography: current status and future perspectives. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, Vol. 58, No. 8, p. 1189-1195. August 1992.

MITISHITA, Edson A. **Monorestituição digital de aerofotos, associada com sistema de computação gráfica C.A.D., para fins de mapeamento na área florestal.** Curitiba, 1997. Tese (Doutoramento em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

MITISHITA, Edson A.; MACHADO, Álvaro, M. L. Sistema monorestituído digital. **XIX Congresso Brasileiro De Cartografia, Recife: 1999.** Anais do Congresso, CD-Rom, Fotogrametria, Recife, 1999.

MITISHITA, Edson A.; SILVA, Vilmar F.; Sikorski, Jorge. Desenvolvimento de Técnicas de Mapeamento Fotogramétrico com Base em Imagens Digitais Tomadas com Câmara de Vídeo e Helicóptero. **Série em Ciências Geodésicas – 30 Anos de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas no Brasil.** V-1, p. 181-198, 2001^A.

MITISHITA, Edson A.; Andrade, José B.; SILVA, Vilmar F.; Sikorski, Jorge. Aerotriangulação Analítica Digital A Partir de Imagens Tomadas de Câmara de Vídeo e Helicóptero. **XX Congresso Brasileiro De Cartografia.** Anais do Congresso, CD-Rom, Fotogrametria, Porto Alegre, 2001^B.

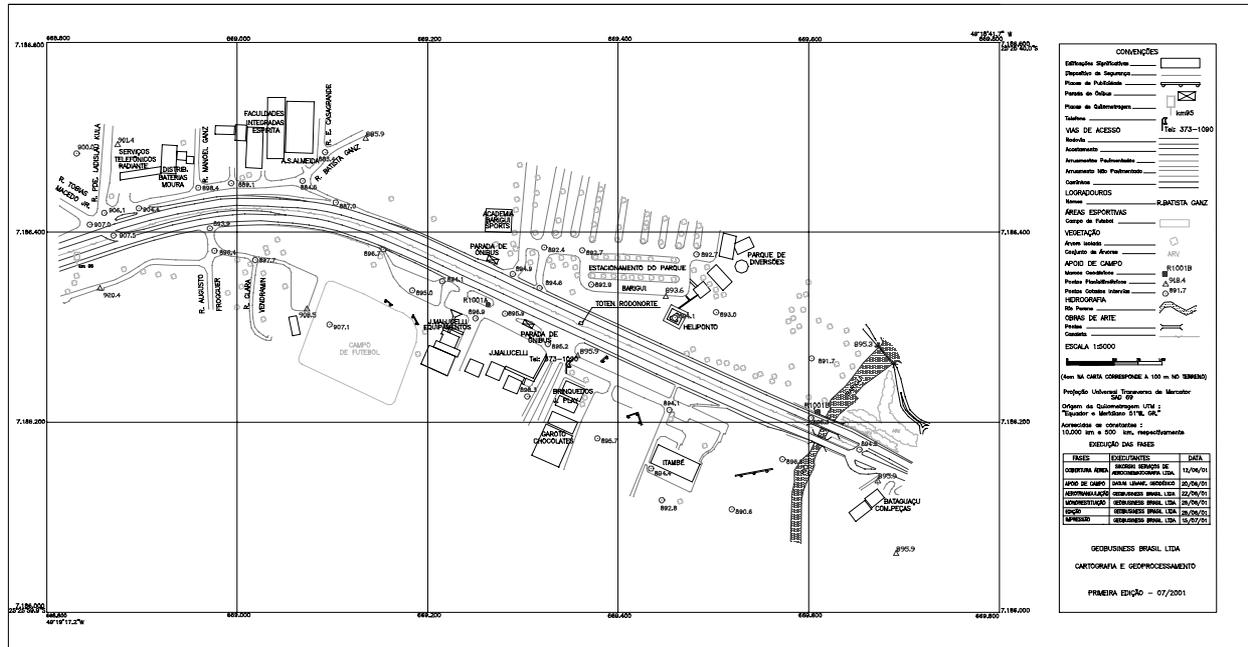
MITISHITA, Edson A.; OLIVAS, M. A. A. Calibração de câmaras aerofotogramétricas a partir de aerofotos digitais (Scanning). **Boletim de Ciências Geodésicas, Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, UFPR.** V.7, N.1, p. 64-76, 2001^C.

SURFER 7. Contouring And 3D Surface Mapping for Scientists and Engineers. **User's Guide.** Golden Software, Inc. 1999.

TREVIZAN, Sérgio J.; MITISHITA, EDSON A. Varredura Monoscópica Para a Geração de Modelo Digital de Terreno. **II Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas – 30 anos de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas no Brasil.** Anais do Colóquio, CD-Rom, Curitiba, 2001.

WRIGHT, R. Airbone videography: principles and practice, **Photogrammetric Record,** v.14, n.81, p. 447-457, Apr. 1993.

FIGURA 08 – CARTA RESULTANTE DA MONORESTITUIÇÃO DAS IMAGENS DE VÍDEO



VERIFICAÇÃO DA ESTABILIDADE GEOMÉTRICA DOS PARÂMETROS DE CALIBRAÇÃO UMA CÂMARA DIGITAL NÃO MÉTRICA DE PEQUENO FORMATO SONY DSC-F717

Edson A. Mitishita¹
Fabrício Pereira Barbosa²

¹Professor do Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas – UFPR-mitishit@geoc.ufpr.br

²Aluno do Curso de Engenharia Cartográfica – Estagiário da Empresa Agritec Agrimensura Aerofotogrametria – fabricao@agritec.com.br

RESUMO

O desenvolvimento crescente de câmaras digitais não métricas e de pequeno formato com maior resolução espacial e menor custo de aquisição, apontam para uma crescente utilização deste tipo de sensor nos procedimentos fotogramétricos de baixo custo, empregados para a obtenção de informações espaciais métricas da superfície terrestre, tais como monorestituição e ortofotos. Por ser uma câmara fotográfica não elaborada para tomadas de imagens para fins de mapeamento fotogramétrico, a reconstrução da geometria projetiva só é possível através de procedimentos fotogramétricos matemáticos.

A determinação dos parâmetros que permitem reconstruir a geometria projetiva da foto no instante da tomada se dá através de um processo de Calibração. Entretanto, apesar de conhecermos as técnicas que permitem a determinação destes parâmetros com elevada precisão, aparece a questão da instabilidade dos parâmetros determinados no processo de calibração e a sua utilização na parametrização dos erros sistemáticos de imagens tomadas em outras condições de utilização da câmara. Esta instabilidade está principalmente ligada com a impossibilidade de retornar na mesma distância focal determinada no processo de calibração, no momento da tomada das imagens na realização da cobertura e a mudança posicional do elemento sensor (CCD) no cone da câmara, pois por construção, este é montado de forma a absorver possíveis impactos existentes na câmara. O movimento do elemento sensor no instante da tomada das imagens determina uma possível variabilidade para a posição do centro de projeção em cada foto.

Apresenta-se neste trabalho a pesquisa realizada com o objetivo de verificar e quantificar a instabilidade dos parâmetros geométricos necessários para a reconstrução da geometria projetiva de uma câmara digital Sony DSC-F717 de 5.2

mega “pixel”. Os parâmetros geométricos determinados com diferentes calibrações, realizadas com imagens tomadas em diferentes datas serão comparados e analisados se suas discrepâncias são significativas para a realização de procedimentos fotogramétricos.

Palavras-chave: Calibração de Câmaras; Câmaras Digitais de Pequeno Formato

ABSTRACT

The increasing development of non-metric digital camera with smaller format, in the current days with larger number of pixels and smaller acquisition cost, point to an increasing utilization of this type of the sensor in the photogrammetric low cost procedures, used for the obtainment of metric information of the terrestrial surface, such as monocular restitution and photomap.

Non-metric digital camera was not fixed to acquire images for photogrammetric application, the reconstruction of the metric characteristics only is possible through mathematical photogrammetric procedures.

The determination of the parameters that allow reconstructing the metric characteristics necessary to photogrammetric applications it is possible through camera calibration methods. However, in spite of knowing the techniques that allow the determination of these parameters with elevated precision, the question appears of the instability of the parameters determined in the calibration process and your utilization in photogrammetric applications.

This instability is linked, with the impossibility of returning at the same focal length set in the calibration process, at the moment of photogrammetric applications and the change of the position of the CCD array in the cone of the camera, because by construction, this is mounted to absorb possible existing impacts in the camera. The moving of the CCD array in the instant of the acquired the images determines a possible variability of the principal point in each photo.

Showed in this work the research accomplished with the purpose of verifying and to quantify the instability of the geometric parameters necessary to reconstruction the metric characteristics of a Sony DSC-F717 digital camera with maximum resolution of 2560 x 1920 pixel. The geometric parameters, determined with different calibrations, performed with images acquired in different dates will be compared and analyzed if its discrepancies are significant for the photogrammetric procedures.

Keywords: Camera Calibration Method; Non-Metric Digital Camera with smaller format

1. INTRODUÇÃO

A utilização de câmaras digitais de pequeno formato não métricas em diversos campos das engenharias tende ser crescente nos dias atuais, tendo em vista ao contínuo aumento da resolução do CCD (Charged Coupled Device) e redução do custo de aquisição. A câmara digital Sony DSC-F717 com resolução espacial de 5,2 milhões de “pixel” e custo aproximado de US\$ 1000 pode ser uma das opções de câmaras digitais de baixo custo existentes atualmente no mercado nacional.

A utilização deste tipo de sensor, na obtenção de informações da superfície terrestre, em Ciências Geodésicas, necessita dos parâmetros de orientação interior para a reconstrução matemática da geometria projetiva. Para a determinação destes parâmetros, utiliza-se de um processo de Calibração de Câmaras. Entretanto, apesar de conhecermos as técnicas que permitem a determinação dos parâmetros com elevada precisão, aparece a questão da instabilidade dos parâmetros determinados no processo e a sua utilização na parametrização dos erros sistemáticos de imagens tomadas em outras condições de utilização da câmara. Esta instabilidade está ligada, principalmente, com a impossibilidade de retornar na mesma distância focal determinada no processo de calibração, no momento da tomada das imagens na realização da cobertura e a mudança posicional do elemento sensor (CCD) no cone da câmara, pois por construção, este é montado de forma a absorver possíveis impactos existentes na câmara, ver MILLS at al, 1996.

Neste trabalho, apresentam-se os resultados obtidos, na determinação dos parâmetros de orientação interior de uma câmara digital Sony DSC-F717, de propriedade da Empresa AGRITEC Agrimensura Aerofotogrametria S.A., nas calibrações realizadas em três épocas diferentes, empregando as mesmas condições operacionais e técnicas para a tomada de imagens do Campo de prova existente na Universidade Federal do Paraná – Centro Politécnico e analisam-se as condições de estabilidade na determinação destes parâmetros para um determinado período de avaliação.

2. CÂMARA SONY DSC-F717

A câmara Sony DSC-F717, trabalha com um Super Had (Hole-Accumulation Diode) CCD Sony ICX282AK do tipo 2/3 de polegadas, diagonal de 11 mm, comprimento (H) de 8,8 mm e largura (V) de 6,6 mm, com 2658 (H) x 1970 (V) - 5,24 mega “pixel”, com número efetivo de 2588 (H) x 1960 (V) - 5,07 mega “pixel” e número ativo de “pixel” de 2580 (H) x 1944 (V) – 5,02 mega “pixel”. O “pixel” é quadrado com dimensão de 3,4 micrometros. A máxima resolução existente na câmara é o valor de 2560 (H) x 1920 (V) – 4,92 mega “pixel”. As imagens são gravadas em cartões de memória de 64 ou 128 Mbytes, no formato JPEG ou TIFF.

O tempo necessário para a gravação de uma imagem de 2560 x 1920 é de 1,9 segundos. Sistema de lentes Carl Zeiss com zoom óptico de 5 vezes e distância focal de 9,7 mm a 48,5 mm. A focalização da imagem pode ser automática ou manual. As imagens são transferidas para o micro computador através da porta de comunicação USB (Universal Serial Bus). A figura 01 mostra a câmara Sony DSC-F717. Nesta pesquisa as imagens foram sempre tomadas com a focalização manual e distância focal para o infinito.

Figura 01 - Câmara Sony DSC-F717

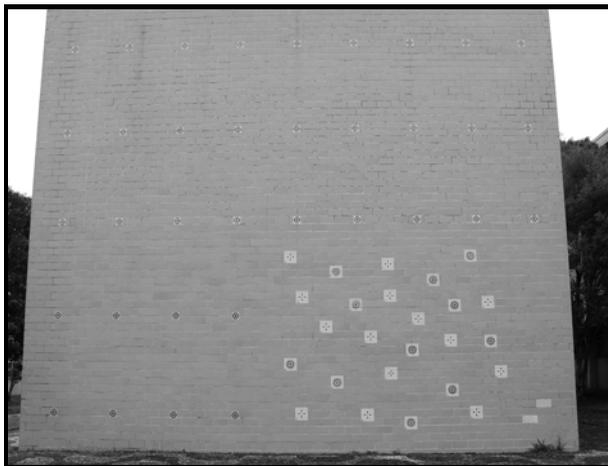


3. TOMADA DAS IMAGENS DO CAMPO DE PROVA EM TRÊS DATAS DIFERENTES

O procedimento de calibração das Câmaras Convergentes foi empregado neste trabalho, ver mais detalhes em ANDRADE, 1998, MITISHITA et al., 2001^A e MITISHITA et al., 2001^B. Utilizou-se o campo de prova existente no Centro Politécnico da Universidade Federal do Paraná, composto por sessenta (60) alvos pré-sinalizados, implantados numa parede de alvenaria com distribuição espacial não regular. A figura 02 mostra esta distribuição. As coordenadas (X,Y,Z) dos alvos foram determinadas com dois levantamentos topográficos distintos. Comparando-se as coordenadas dos alvos, obtidas nos dois levantamentos, obteve-se um erro médio quadrático de três milímetros para X, Y e Z. Utilizações de Campos de Provas alternativos podem ser vistos em HABIB et al, 2002, MATSUOKA et al, 2002 e

WIGGENHAGEN, 2002. O conjunto composto por doze imagens convergentes foi obtido com três imagens com a câmara na posição normal, três imagens com rotação de 180° graus, três imagens com rotações de 90° e três com rotação de -90° . Três conjuntos tomados em diferentes datas (25/02/03, 10/03/03 e 01/04/03) foram empregados para a determinação de três calibrações distintas.

Figura 02 – Campo de calibração de câmaras – UFPR – Centro Politécnico



4. OBSERVAÇÕES FOTOGRAMÉTRICAS

Utilizou-se o Sistema fotogramétrico MonoRestituídor Digital para realizar as observações fotogramétricas, ver MITISHITA, 1997 e MITISHITA e MACHADO, 1999. Os marcos existentes nas imagens, tomadas em diferentes datas do campo de prova, foram identificados e lidos em duas séries de leitura. Os valores médios existentes entre as duas leituras foram utilizados nas determinações dos parâmetros de orientação interior. O valor do erro médio obtido para as observações fotogramétricas (x, y) em diferentes datas foi de 0,001 mm.

5. DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS GEOMÉTRICOS

Os parâmetros geométricos, compostos pela distância focal calibrada, coordenadas do ponto principal no referencial matricial dos elementos CCD e parâmetros de distorção de lentes serão determinados para as três diferentes datas,

com base nos três conjuntos de fotos, previamente tomados do campo de prova e lidos no Sistema Monorestituído digital.

Um ajustamento simultâneo dos feixes de raios (M.M.Q.), acrescido de injunções de posição nas coordenadas geodésicas dos marcos, ver ANDRADE, 1998 permitiu recuperar os parâmetros de orientação interior necessários à reconstrução matemática da geometria projetiva e parâmetros de orientação exterior das imagens utilizadas.

As equações de colinearidade (01) acrescidas dos parâmetros matemáticos que modelam as distorções de lentes e a posição do ponto principal na imagem são as equações básicas do procedimento.

$$x = -c \frac{m_{11}(X-X_0) + m_{12}(Y-Y_0) + m_{13}(Z-Z_0)}{m_{31}(X-X_0) + m_{32}(Y-Y_0) + m_{33}(Z-Z_0)} + x_0 + \Delta r x + \Delta dx$$

$$y = -c \frac{m_{21}(X-X_0) + m_{22}(Y-Y_0) + m_{23}(Z-Z_0)}{m_{31}(X-X_0) + m_{32}(Y-Y_0) + m_{33}(Z-Z_0)} + y_0 + \Delta r y + \Delta dy$$
(01)

$$\Delta r = (k_1 r^2 + k_2 r^4 + k_3 r^6)$$

$$\Delta dx = P_1 (r^2 + 2x^2) + 2P_2 xy$$

$$\Delta dy = 2P_1 xy + P_2 (r^2 + 2y^2)$$

(x, y) = Coordenadas de pontos no referencial “fiducial”;

c = Distância focal da câmara;

(k_1, k_2, k_3) = Parâmetros da distorção radial simétrica;

(P_1, P_2) = Parâmetros da distorção descentrada;

(x_0, y_0) = Coordenadas do ponto principal no referencial “fiducial”;

(X_0, Y_0, Z_0) = Coordenadas da estação de exposição;

$[X \ Y \ Z]^T$ = Coordenadas de pontos no referencial geodésico local;

m_{ij} = Elementos da matriz de rotação $R(\chi).R(\varphi).R(\omega)$

Neste trabalho foi utilizada a origem do referencial “fiducial” como sendo o centro da imagem.

6. RESULTADOS OBTIDOS

Tendo as observações fotogramétricas realizadas nas imagens tomadas em diferentes épocas, procedeu-se a determinação dos parâmetros de orientação interior em cada época. Os resultados obtidos são apresentados a seguir:

6.1 CALIBRAÇÃO COM IMAGENS TOMADAS EM 25/02/2003

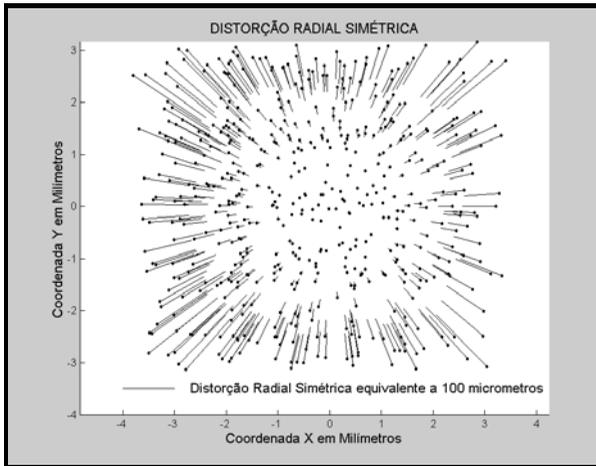
Os parâmetros de orientação interior foram determinados por um ajustamento M.M.Q. de feixes de raios de 44 alvos pré-sinalizados, observados em 12 imagens tomadas do campo de prova na data de 25/02/2003, conforme metodologia apresentada no item 3. Os principais resultados obtidos foram:

- Distância focal Gaussiana Equivalente: 10,089 mm $\sigma = 0,003$ mm
- Coordenadas do ponto principal
 - $x_o = -0,243$ mm $\sigma = 0,003$ mm
 - $y_o = -0,143$ mm $\sigma = 0,003$ mm
- Distorção radial simétrica
 - $k_1 = -2,22644738e-03$ $\sigma = 2,7816516e-05$
 - $k_2 = 2,62056608e-05$ $\sigma = 1,1688397e-06$
 - $k_3 = 0,0$

Figura 03 – Curva de distorção radial simétrica – 25/02/2003



Figura 04 – Gráfico de distorção radial simétrica – 25/02/2003

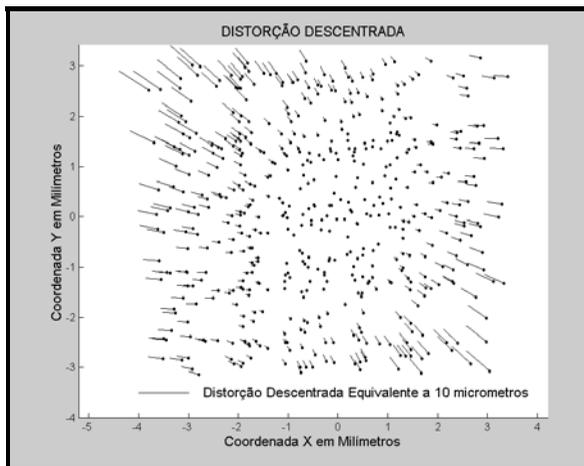


- Distorção descentrada

$$P_1 = -9,90859038e-05 \quad \sigma = 8,4242595e-06$$

$$P_2 = 6,28551022e-05 \quad \sigma = 8,2861618e-06$$

Figura 05 – Gráfico de distorção descentrada – 25/02/2003



- Número de observações fotogramétricas: 522
- Resíduos médios absolutos das observações e seus desvios padrões
 - $V_x = 0,001 \text{ mm}$ $\sigma = 0,001 \text{ mm}$
 - $V_y = 0,001 \text{ mm}$ $\sigma = 0,001 \text{ mm}$
- Máximos resíduos nas observações
 - $V_x = 0,003 \text{ mm}$
 - $V_y = 0,003 \text{ mm}$
- Resíduos médios absolutos nas coordenadas locais dos marcos pré-sinalizados e desvios padrões
 - $V_X = 0,001 \text{ m}$ $\sigma = 0,000 \text{ m}$
 - $V_Y = 0,001 \text{ m}$ $\sigma = 0,000 \text{ m}$
 - $V_Z = 0,003 \text{ m}$ $\sigma = 0,002 \text{ m}$
- Máximos resíduos nas coordenadas dos marcos pré-sinalizados
 - $V_X = 0,001 \text{ m}$
 - $V_Y = 0,001 \text{ m}$
 - $V_Z = 0,008 \text{ m}$
- Variância de unidade de peso a priori: 1,0
- Variância de unidade de peso a posteriori: 0,910

6.2 CALIBRAÇÃO COM IMAGENS TOMADAS EM 10/03/2003

Os parâmetros de orientação interior foram determinados por um ajustamento M.M.Q. de feixes de raios de 45 alvos pré-sinalizados, observados em 12 imagens tomadas do campo de prova na data de 10/03/2003, conforme metodologia apresentada no item 3. Os principais resultados obtidos foram:

- Distância focal Gaussiana Equivalente: 10,082 mm $\sigma = 0,005 \text{ mm}$
- Coordenadas do ponto principal
 - $x_o = -0,253 \text{ mm}$ $\sigma = 0,003 \text{ mm}$
 - $y_o = -0,151 \text{ mm}$ $\sigma = 0,003 \text{ mm}$
- Distorção radial simétrica
 - $k_1 = -2,18915186\text{e-}03$ $\sigma = 2,3169893\text{e-}05$
 - $k_2 = 2,75934941\text{e-}05$ $\sigma = 9,0690649\text{e-}07$
 - $k_3 = 0,0$

Figura 06 – Curva de distorção radial simétrica - 10/03/2003

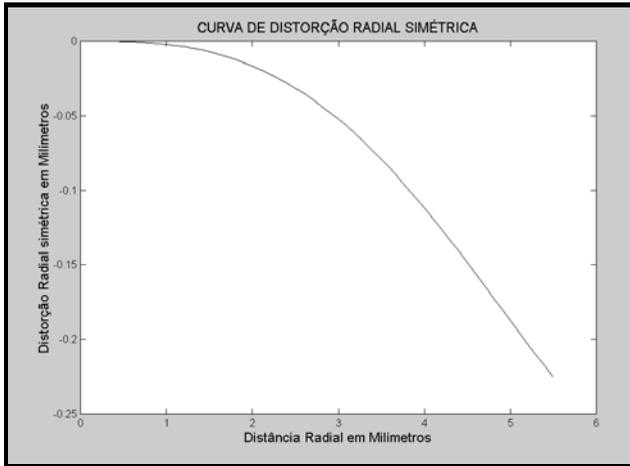
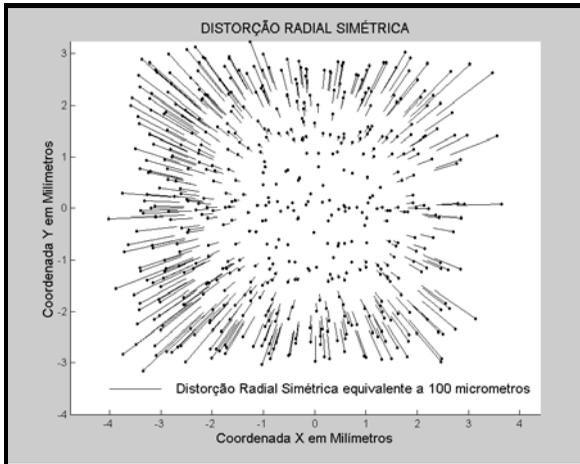


Figura 07 – Gráfico de distorção radial simétrica - 10/03/2003

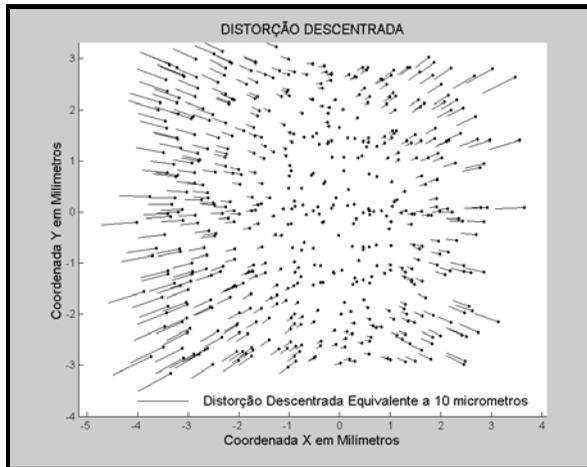


- Distorção descentrada

$$P_1 = -1,47185370e-04 \quad \sigma = 7,2835645e-06$$

$$P_2 = -1,42394475e-05 \quad \sigma = 6,9333229e-06$$

Figura 08 – Gráfico de distorção descentrada - 10/03/2003



- Número de observações fotogramétricas: 539
- Resíduos médios absolutos das observações e seus desvios padrões
 - $V_x = 0,001 \text{ mm} \quad \sigma = 0,001 \text{ mm}$
 - $V_y = 0,000 \text{ mm} \quad \sigma = 0,001 \text{ mm}$
- Máximos resíduos nas observações
 - $V_x = 0,003 \text{ mm}$
 - $V_y = 0,002 \text{ mm}$
- Resíduos médios absolutos nas coordenadas locais dos marcos pré-sinalizados e desvios padrões
 - $V_X = 0,001 \text{ m} \quad \sigma = 0,000 \text{ m}$
 - $V_Y = 0,001 \text{ m} \quad \sigma = 0,001 \text{ m}$
 - $V_Z = 0,003 \text{ m} \quad \sigma = 0,002 \text{ m}$
- Máximos resíduos nas coordenadas dos marcos pré-sinalizados
 - $V_X = 0,001 \text{ m}$
 - $V_Y = 0,001 \text{ m}$

$$V_Z = 0,009 \text{ m}$$

- Variância de unidade de peso a priori: 1,0
- Variância de unidade de peso a posteriori: 0,971

6.3 CALIBRAÇÃO COM IMAGENS TOMADAS EM 01/04/2003

Os parâmetros de orientação interior foram determinados por um ajustamento M.M.Q. de feixes de raios de 45 alvos pré-sinalizados, observados em 12 imagens tomadas do campo de prova na data de 01/04/2003, conforme metodologia apresentada no item 3. Os principais resultados obtidos foram:

- Distância focal Gaussiana Equivalente: 10,070 mm $\sigma = 0,003 \text{ mm}$
- Coordenadas do ponto principal
 - $x_o = -0,241 \text{ mm}$ $\sigma = 0,003 \text{ mm}$
 - $y_o = -0,148 \text{ mm}$ $\sigma = 0,003 \text{ mm}$
- Distorção radial simétrica
 - $k_1 = -2,19176077\text{e-}03$ $\sigma = 2,6041376\text{e-}05$
 - $k_2 = 2,61966735\text{e-}05$ $\sigma = 1,0231724\text{e-}06$
 - $k_3 = 0,0$

Figura 09 – Curva de distorção radial simétrica - 01/04/2003

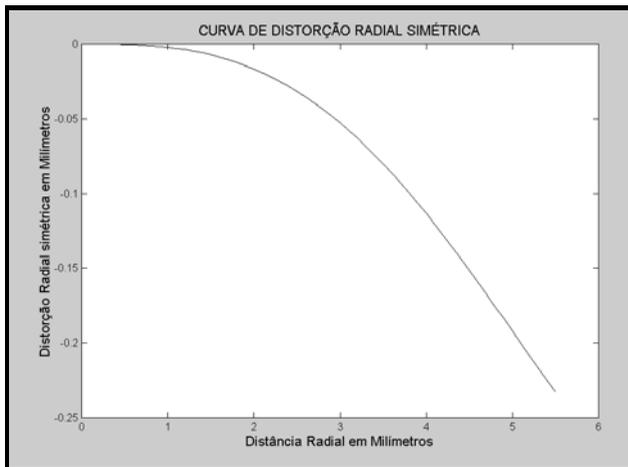
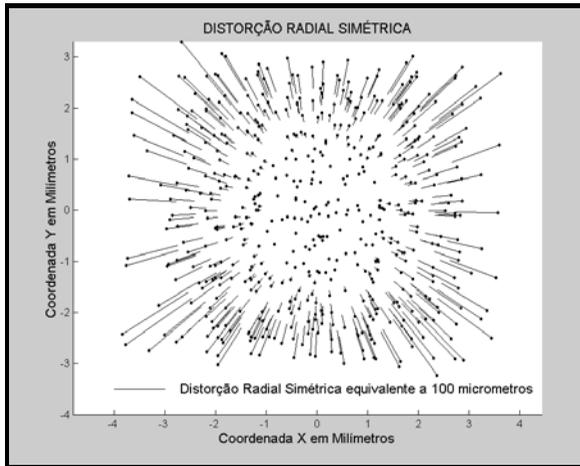


Figura 10 – Gráfico de distorção radial simétrica - 01/04/2003

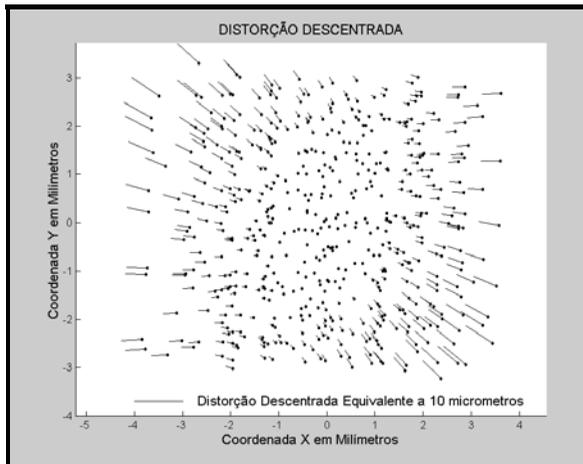


- Distorção descentrada

$$P_1 = -1,12278699e-04 \quad \sigma = 8,4238921e-06$$

$$P_2 = 5,67626757e-05 \quad \sigma = 7,8258765e-06$$

Figura 11 – Gráfico de distorção descentrada - 01/04/2003



- Número de observações fotogramétricas: 538
- Resíduos médios absolutos das observações e seus desvios padrões

$$V_x = 0,001 \text{ mm} \quad \sigma = 0,001 \text{ mm}$$

$$V_y = 0,001 \text{ mm} \quad \sigma = 0,001 \text{ mm}$$
- Máximos resíduos nas observações

$$V_x = 0,003 \text{ mm}$$

$$V_y = 0,003 \text{ mm}$$
- Resíduos médios absolutos nas coordenadas locais dos marcos pré-sinalizados e desvios padrões

$$V_X = 0,001 \text{ m} \quad \sigma = 0,000 \text{ m}$$

$$V_Y = 0,001 \text{ m} \quad \sigma = 0,001 \text{ m}$$

$$V_Z = 0,003 \text{ m} \quad \sigma = 0,002 \text{ m}$$
- Máximos resíduos nas coordenadas dos marcos pré-sinalizados

$$V_X = 0,002 \text{ m}$$

$$V_Y = 0,002 \text{ m}$$

$$V_Z = 0,009 \text{ m}$$
- Variância de unidade de peso a priori: 1,0
- Variância de unidade de peso a posteriori: 0,908

7. ANÁLISE DE RESULTADOS

Analisando-se os resultados obtidos nas calibrações realizadas com imagens tomadas em três diferentes épocas, verifica-se que a distância focal gaussiana equivalente e as coordenadas do ponto principal apresentaram variações de no máximo 0,010 mm em relação ao valor médio calculado, como pode ser visto na tabela 01. Tendo em vista o procedimento manual, empregado para a focalização da câmara para o infinito no momento das tomadas das imagens e as precisões obtidas na determinação destes parâmetros nos Ajustamentos Simultâneos realizados ($\sigma \approx 0,003 \text{ mm}$), pode se concluir que existe uma estabilidade dos parâmetros de orientação interior, dentro do limite de 3σ , para o período de tempo empregado nesta pesquisa, associado com as condições operacionais de utilização da câmara.

Analisando-se a figuras 04, 07, 10 e 12 e os parâmetros k_1, k_2 e k_3 determinados nas diferentes calibrações, verifica-se uma excelente estabilidade no comportamento da distorção radial simétrica na câmara empregada nesta pesquisa, no período de tempo utilizado.

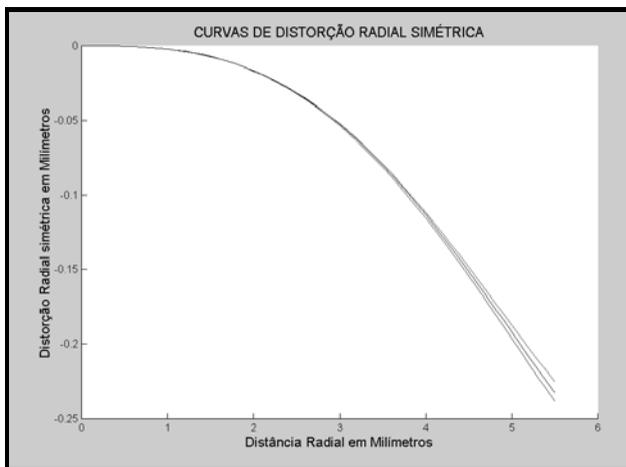
O comportamento de distorção descentrada existente na câmara Sony DSC-F717, apresentou pequenas variações no período de tempo analisado, como pode ser

verificado nas figuras 05, 08 e 11, apesar de diferentes valores numéricos encontrados para os parâmetros P_1 e P_2 nas três determinações realizadas. As componentes de distorção descentrada determinadas nas três calibrações estão dentro de valores abaixo de 0,010 mm e são dez vezes menores que as componentes de distorção radial simétrica determinada.

Tabela 01 – Parâmetros determinados de orientação interior em diferentes épocas

PARÂMETROS DE ORIENTAÇÃO INTERIOR				
	25/02/2003	10/03/2003	01/04/2003	MÉDIA
Distância Focal (mm)	10,089	10,082	10,070	10,080
x_o (mm)	-0,243	-0,253	-0,241	-0,246
y_o (mm)	-0,143	-0,151	-0,148	-0,147

Figura 12 – Curvas de distorção radial simétrica das três calibrações



As calibrações realizadas em diferentes épocas mostram que os parâmetros geométricos determinados, permitiram uma excelente modelagem matemática do afastamento da condição de colinearidade existente nas observações fotogramétricas realizadas nas imagens trabalhadas. Tendo em vista a qualidade dos resultados obtidos, os parâmetros de correção de escala e ortogonalidade dos eixos (A1 e A2 - ver MONIWA, 1977), não foram considerados neste trabalho. Pesquisa realizada por

(HABIB et al., 2002), com uma câmara Sony DSC-F707, encontrou valores não significativos para estes parâmetros.

8. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos nesta pesquisa permitem apresentar as seguintes conclusões:

- Nas três calibrações realizadas, dentro do período de tempo considerado, verificou-se uma excelente estabilidade nos parâmetros geométricos necessários a reconstrução da geometria projetiva na utilização das imagens obtidas com a câmara Sony DSC-F717 utilizada;
- A distorção radial simétrica foi modelada pelos parâmetros k_1, k_2 e a distorção descentrada pelos parâmetros P_1 e P_2 ;
- Os parâmetros de correção de escala e ortogonalidade dos eixos na matriz de elementos sensores no CCD não foram considerados nesta pesquisa;
- A distorção radial simétrica existente no sistema de lentes da câmara utilizada possui valor dez vezes maior que a distorção descentrada existente;
- Em nenhuma das trinta e seis imagens empregadas nas três calibrações realizadas foi verificado afastamento do ponto principal em função do movimento do elemento CCD no plano de projeção que alterasse o comportamento dos resíduos nas observações fotogramétricas.

Pesquisas futuras são necessárias para verificar a qualidade do restabelecimento da geometria projetiva visando a realização de trabalhos fotogramétricos aplicados a obtenção de informações métricas a partir de observações monoscópicas ou estereoscópicas de imagens obtidas com a câmara Sony DSC-F717 utilizada neste trabalho.

9. REFERÊNCIAS

ANDRADE, José B. **Fotogrametria**. [s.l]: SBEE, 1998.

HABIB, Ayman F.; SHIN, S. W.; MORGAN, M. F. New approach for calibrating off-the-shelf digital cameras. **Photogrammetric Computer Vision – PCV02**. September 9-13, 2002. Graz, Áustria. Proceedings: Anais CD-Rom, Part A.

MATSUOKA, R.; FUKUE, K.; CHO, K.; SHIMODA, H.; MATSUMAE, Y.; FUJIWARA, S. A study on calibration of digital camera. **Photogrammetric Computer Vision – PCV02**. September 9-13, 2002. Graz, Áustria. Proceedings: Anais CD-Rom, Part A.

MILLS, J. P. and NEWTON, I. Aerial photography for survey purposes with a high resolution, small format, digital camera. **Photogrammetric Record**. 15(88): 575-587, October, 1996.

MITISHITA, Edson A. **Monorestituição digital de aerofotos, associada com sistema de computação gráfica C.A.D., para fins de mapeamento na área florestal**. Curitiba, 1997. Tese (Doutoramento em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

MITISHITA, Edson A.; MACHADO, Álvaro, M. L. Sistema monorestituído digital. **XIX Congresso Brasileiro De Cartografia, Recife: 1999**. Anais do Congresso, CD-Rom, Fotogrametria, Recife, 1999.

MITISHITA, Edson A.; SILVA, Vilmar F.; Sikorski, Jorge. Desenvolvimento de Técnicas de Mapeamento Fotogramétrico com Base em Imagens Digitais Tomadas com Câmara de Vídeo e Helicóptero. **Série em Ciências Geodésicas – 30 Anos de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas no Brasil**. V-1, p. 181-198, 2001^A.

MITISHITA, Edson A.; OLIVAS, M. A. A. Calibração de câmaras aerofotogramétricas a partir de aerofotos digitais (Scanning). **Boletim de Ciências Geodésicas, Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, UFPR**. V.7, N.1, p. 64-76, 2001^B.

MONIWA, H. **Analytical photogrammetric System with self-calibration and its applications**. Ph.D. Thesis, Department of Surveying Engineering, UNB, 1977.

WIGGENHAGEN, Manfred. Calibration of digital consumer cameras for photogrammetric applications. **Photogrammetric Computer Vision – PCV02**. September 9-13, 2002. Graz, Áustria. Proceedings: Anais CD-Rom, Part A.

UTILIZAÇÃO DE TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO NA AVALIAÇÃO PAISAGÍSTICA REGIONAL

Geraldo Santos Landovsky¹
Daniela Biondi Batista²
Hideo Araki³

1 Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Mestrando do Curso de Ciência do Solo da Universidade Federal do Paraná – landovsky@ibge.gov.br

2 Universidade Federal do Paraná – dbiondi@floresta.ufpr.br

3 Universidade Federal do Paraná – haraki@geoc.ufpr.br

RESUMO

A avaliação da qualidade visual de paisagens tem se mostrado uma ferramenta eficiente nos estudos para a determinação de diretrizes de usos adequados do solo, levando-se em conta o potencial atrativo dos diversos tipos de cobertura da superfície terrestre. Os métodos convencionais de avaliação da paisagem necessitam de informações espaciais atuais da região em estudo, e a literatura pertinente prescreve a informação cartográfica como principal instrumento nesse tipo de avaliação. Com o advento do Sensoriamento Remoto, tornou-se possível obter informações, não só espaciais, mas também espectrais, com precisão e periodicidade das áreas cobertas pelas imagens dos sensores orbitais. Dentre os empregos das imagens orbitais, é bastante difundido a geração, a partir delas, de mapas de ocupação do solo, que podem, por sua vez, servir de base para os estudos de análise a avaliação da paisagem. O presente trabalho, tem por objetivo propor uma metodologia para a avaliação da qualidade visual da paisagem através de uma imagem de sensoriamento remoto classificada e pós-processada, com a implementação de algoritmo específico, para avaliação da qualidade dos diversos usos da superfície na área em estudo. Definidas as classes e seus respectivos valores qualitativos, a imagem Landsat foi classificada pelo Método da Máxima Verossimilhança. Elaborou-se, então, em ambiente MatLab, um algoritmo que busca na imagem as diversas combinações de coberturas da superfície e, a partir do valor de qualidade definida anteriormente para cada tipo de cobertura, gera uma imagem resultante que mostra a qualidade visual da área estudada. Esta imagem resultante pode ser empregada em vários estudos, como os de uso e ocupação do solo, atrativos turísticos etc, com a finalidade de preservar e/ou fazer uso adequado dos recursos visuais da paisagem.

Palavras-chave: Sensoriamento Remoto; Processamento Digital de Imagens; Paisagem.

ABSTRACT

A landscape visual quality valuation is an efficient instrument to establish suitable ways to use the land, considering the attractive potential of the several kinds of landscapes. Satellite images can be used to produce thematic maps about land use. The periodic images acquisition allows temporal investigations about land occupation tendencies. However, images evidence just the occupation, the regions increase and the land alterations. In this case, using a Landscape Study is possible to verify, through the images, a region visual quality impoverishment due to an engineering work implantation or deforestation. This essay proposes a methodology elaboration, through the MatLab software use, to landscapes valuation using remote sensing images.

Keywords: remote sensing, image processing, landscape.

1. INTRODUÇÃO

1.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS

O Estudo da Paisagem é um ramo relativamente novo da ciência. As primeiras pesquisas que enfocaram paisagem como elemento central datam da década de 1960. Desde então, a ciência da paisagem passou a fazer parte dos estudos e projetos em varias áreas de planejamento. Atualmente, o Estudo da Paisagem está integrado ao planejamento regional em vários países, sendo inclusive um fator determinante na implantação ou não de um projeto ou obra de engenharia.

Um dos principais usos das imagens de satélite é a geração de mapas temáticos de uso do solo. A aquisição periódica de imagens permite a realização de estudos temporais de tendências nas formas de ocupação do solo. Porém, tem-se apenas evidente a ocupação, ou seja, observam-se apenas áreas com um ou outro uso, as regiões que mais cresceram e as que tiveram sua cobertura alterada. Neste caso, o emprego do Estudo da Paisagem pode revelar informações intrínsecas ao mapa temático gerado a partir de uma imagem orbital, como o empobrecimento da qualidade visual de uma região em conseqüência da implantação de uma obra de engenharia ou da ocorrência de um desmatamento. A valoração da paisagem é considerada um recurso que permite avaliar a qualidade visual ou cênica de uma região com rapidez e eficácia. A união desta ferramenta com as técnicas de

Sensoriamento Remoto pode ser viável, econômica e tecnicamente, nas questões de planejamento urbano e regional e de uso racional do solo.

A atual situação e necessidades do estudo de paisagens e suas aplicações no campo das ciências, sugere que se utilize menos estudos descritivos e mais estudos metodológicos e de modelagem (SILVA *et al.*, 1998). De acordo com ROCHA (1995), é evidente a multiplicidade de perspectivas abertas para o emprego de metodologias na análise da paisagem. Para cada situação, devem ser observados os padrões típicos nos quais se apresentam os componentes da paisagem, ou seja, os diferentes arranjos possíveis entre os mosaicos formados pela combinação de formas superficiais do terreno, aspectos bióticos e intensidades diferenciadas de antropização. Atualmente, além dos mapas temáticos em diversas escalas, outras fontes de informação cartográfica são preconizadas para a avaliação da paisagem, entre elas, as imagens obtidas por sensores a bordo de satélites, as fotografias aéreas, os Sistemas Geográficos de Informações (GIS), a modelagem e os modelos fractais, estes últimos referentes ao processamento digital de imagens (ROCHA, 1995; PORTO, 1999).

2. EMBASAMENTO TEÓRICO

2.1. O ESTUDO DA PAISAGEM

A paisagem, definida por LAURIE (1976), é um espaço quando visto ou descrito em termos de suas características fisiográficas e ambientais, relacionadas com os impactos antropogênicos, e de grande importância nos estudos de planejamento urbano e regional. Já VILLOTA (1991), diz que a paisagem é a unidade fundamental e básica para definir os diversos tipos de solos existentes. Pode-se então, a partir disso, utilizar o Estudo da Paisagem como um subsídio para a definição de usos e ocupação do solo. FORMAN e GODRON (1986), definem a paisagem como uma superfície geográfica heterogênea, constituída por um grupo de ecossistemas que se repetem apresentando padrões semelhantes.

PIRES (1993) diz que, nos últimos vinte e cinco anos, consagrou-se em alguns países, principalmente na Europa e América do Norte, o processo institucional do Planejamento da Paisagem, cujas etapas técnicas ou científicas passaram a exigir o desenvolvimento de estudos sobre a paisagem, tomada na sua dimensão visual e territorial. Também enfatiza a importância deste estudo relacionando-o com a crescente demanda social pelos valores ambientais através das qualidades cênicas e naturalísticas da paisagem.

2.1.1. O Estudo da Paisagem no Planejamento

De acordo com BOLÓS e CAPDEVILA (1992), a exploração dos recursos naturais e a progressiva mudança de usos do solo originam uma antropização crescente dos setores que possuíam altos graus de naturalidade. Estas rápidas transformações da paisagem fazem-na ser considerada também como um recurso no meio, onde valores perceptivos representam um patrimônio natural, cujo papel no bem-estar humano e na qualidade de vida tem um enorme peso. Por isso, a dimensão paisagística vem se incorporando ao planejamento territorial, devendo este ser dirigido a conservar a qualidade da paisagem em função de sua capacidade para a recreação, turismo e outros aspectos.

NAVEH (1994) considera que o planejamento paisagístico deve unir-se ao ecológico como parte integrante deste, salientando a necessidade de avaliação quantitativa do impacto total do uso do solo e sua específica e necessária utilidade na paisagem, especialmente considerando o campo da recreação. LAURIE (1976), diz que o planejamento da paisagem mais amplo é o contexto para o planejamento local e este, por sua vez, é a estrutura na qual estará o projeto detalhado. Segundo SEIBERT (1974), a finalidade do planejamento da paisagem é o de encontrar um equilíbrio entre o potencial natural da paisagem e as necessidades da sociedade, considerando a limitação deste potencial natural e a sua diferenciação local e regional. A integração da paisagem como variável do meio físico passou a ser uma necessidade urgente a ser tratada, e seu estudo e valoração devem ser prévios a qualquer projeto de planejamento de usos do solo (ALVAREZ-ALFONSO, 1990).

Sendo assim, é justificável a consideração do estudo da paisagem no planejamento de uso e ocupação do território, na avaliação de impactos ambientais, na recuperação de áreas degradadas, na proteção de recursos cênicos e no desenvolvimento turístico de uma região.

2.1.2. Avaliação da Paisagem

PIRES (1993) afirma que atualmente os estudos da paisagem compreendem desde uma mera descrição até uma tipificação ou classificação em unidades homogêneas e desde estudos de percepção visual até a determinação da qualidade e fragilidade visuais, com uso intenso de técnicas estatísticas. CANTERAS (1992), diz que os métodos de avaliação da paisagem variam desde aqueles baseados nas considerações estéticas, portanto subjetivos, até os métodos que pretendem avaliar objetivamente a qualidade da paisagem, mediante seus componentes. Existem várias classificações destas metodologias em função dos critérios empregados, ou dos sistemas de medida, ou da participação de usuários etc.

O Método Indireto das Componentes da Paisagem é aplicado através da análise dos componentes físicos (meio abiótico: água, topografia), dos componentes

biológicos (meio biótico: vegetação, fauna), e dos componentes antrópicos (uso do solo). Tais componentes devem ser valorados através de unidades regulares (malha reticulada) ou unidades irregulares (em função de um componente definidor da paisagem, por exemplo).

3. MATERIAL E MÉTODO

3.1. METODOLOGIA

A metodologia empregada no presente estudo está baseada na forma indireta da avaliação da paisagem, onde são analisados os componentes da paisagem através de suas relações visuais. Logo, o que se tem como produto da aplicação do método é um mapa da Qualidade Visual da Paisagem da região em estudo, pois a avaliação se dá apenas em função dos elementos vistos na imagem.

Utilizou-se o seguinte material para a elaboração do presente trabalho: a) Cartas Topográficas, escala 1:50.000 da DSG (Diretoria do Serviço Geográfico – Exército do Brasil), Folhas: SG.22-X-A-II-3, MI – 2807/3, Rincão da Ponte. Edição 1997; e SG.22-D-IV, Castro. Edição 1964; b) Mapa das Florestas, escala 1:100.000 do Mapeamento dos Remanescentes de Floresta com Araucária no Estado do Paraná – PROBIO – MMA- CNPq, MI's 2807 e 2824. Edição 2001; c) Imagem Landsat TM 5, escala aproximada 1:100.000, de setembro de 1999, canais 3, 4 e 5, cedida pela Empresa Engesat à Universidade Federal do Paraná; d) Os softwares: ENVI, Multispec, PaintShop, MatLab e MicroStation.

O primeiro passo para a aplicação da metodologia proposta foi uma classificação da imagem utilizada (LANDSAT TM-5, composição colorida RGB-3, 4, 5). Esta classificação se deu através da técnica supervisionada, pelo método da máxima verossimilhança. Deve-se levar em conta a ordem em que os elementos foram classificados - água (1), mata nativa (2), reflorestamentos (3), agricultura estágio I (4), agricultura estágio II (5), área urbana/rodovias (6), campos/pastagens (7), solo exposto (8), solo com calcário (9), e afloramentos rochosos (10) -, pois esta é a seqüência considerada quando a imagem é empregada para a avaliação da paisagem.

De posse da imagem classificada, partiu-se para uma segunda fase, onde foram atribuídos valores individuais de qualidade a cada classe, de acordo com a qualidade visual de cada elemento da paisagem. A escala empregada para a avaliação da qualidade visual da paisagem compreende valores inteiros iguais a 1, 2, 3, 4 e 5, correspondendo às classes de qualidade visual baixa, média baixa, média, média alta e alta, respectivamente. Desta forma, as classes geradas receberam os seguintes valores: água, 5; mata nativa, 5; reflorestamentos, 2; agricultura estágio I, 3; agricultura estágio II, 3; área urbana/rodovias, 3; campos/pastagens, 4; solo exposto 1; solo com calcário, 1; e afloramentos rochosos 5. Então foram atribuídos valores às

possíveis combinações entre estas classes, seguindo a mesma escala de valores, onde: água e mata nativa, valor 5; mata nativa e área urbana/rodovias, valor 3; área urbana/rodovias e solo exposto, valor 1; e assim por diante.

Na sequência foi desenvolvido um programa, em ambiente MatLab, que avalia a paisagem contida na imagem classificada, em função dos valores de qualidade visual atribuídos a cada classe e da combinação dessas classes. Para tanto, este programa se utiliza de uma máscara que percorre a imagem classificada em janelas de 67 por 67 pixels (4489 pixels, aproximadamente 4 Km²), lê as informações presentes no interior de cada janela e as processa, resumidamente, da seguinte maneira: 1) conta quantas classes estão presentes na janela; 2) se ocorre apenas uma classe ou se a classe majoritária ocupa 85% ou mais da área, a janela recebe a nota individual desta classe; 3) se ocorre mais de uma classe e a classe majoritária contém 15% ou menos da área, a janela recebe uma nota diferencial, pois se trata de uma área fragmentada que deve ser estudada com mais detalhe; 4) quando ocorre uma classe majoritária maior que 15% e menor que 85% da área da quadrícula, o programa busca a segunda classe de maior ocorrência e então parte para a avaliação da combinação entre as duas maiores classes presentes; 5) depois de percorrida toda a imagem, a partir dos valores atribuídos a cada janela, o resultado é um mosaico de quadrículas com diferentes valores de qualidade visual.

De posse deste mosaico, partiu-se para a análise e interpretação das linhas que configuram a paisagem tanto na imagem LandSat original, quanto na imagem classificada, em cartas topográficas e no mapa de vegetação, com a finalidade de geração do mapa de qualidade visual da paisagem da área de estudo.

Para efeito comparativo, também foi realizada a avaliação pelo método indireto através dos componentes da paisagem (metodologia tradicional), com o mesmo material, ou seja, as cartas topográficas, o mapa de vegetação e informações provenientes da imagem. Nas cartas topográficas foram avaliados as estradas e rodovias, o relevo e a hidrografia. No mapa de vegetação foram avaliadas a cobertura vegetal e hidrografia. A imagem de satélite permitiu uma avaliação geral dos usos do solo. A análise foi feita através de uma grade reticulada, com base na metodologia empregada por GRIFFITH (1979). A grade possui dimensões de 12 colunas por 8 linhas, com 96 quadrículas de aproximadamente 4Km² cada. Os valores adotados para esta avaliação foram de 1 a 5, segundo os contextos analisados (topográfico, hidrográfico, vegetativo e geomorfológico, e intervenção antrópica).

3.2 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo do presente trabalho localiza-se no município de Tibagi. Este, por sua vez, está inserido nos Campos Gerais do Paraná. Sua área atual é de 3.105,08 km², sendo o maior município do Estado em extensão territorial. Está localizado na região Centro Sul do Estado, no Segundo Planalto Paranaense, a oeste

da Escarpa Devoniana. Limita-se com os municípios de Telêmaco Borba e Ventania ao Norte, a Leste com os municípios de Piraí do Sul, Castro e Carambeí, ao Sul com Ponta Grossa e Ipiranga; e ao Oeste com Ivaí, Reserva e Imbaú (TIBAGI, 2002a; TIBAGI, 2002b). A cidade de Tibagi está localizada à margem esquerda do Rio Tibagi, com coordenadas geográficas aproximadas de 24° 30' 49,5" de Latitude Sul, 50° 24' 55" de Longitude Oeste, e situada a 732 metros acima do nível do mar (MAACK, 1968). Como área de teste (figura 01) para a metodologia empregada, foi escolhida a região delimitada pelas coordenadas UTM (Universal Transversa de Mercator), constantes do quadro 1. Esta área apresenta uma ampla e representativa quota da diversidade paisagística regional.

QUADRO 1: COORDENADAS UTM DA ÁREA DE ESTUDO.

Limite	Coordenada Leste (metros)	Coordenada Norte (metros)
Superior Esquerdo	552.000,00	7.298.000,00
Inferior Direito	576.000,00	7.282.000,00

FONTE: AUTORES.

FIGURA 01: ÁREA DE ESTUDO.



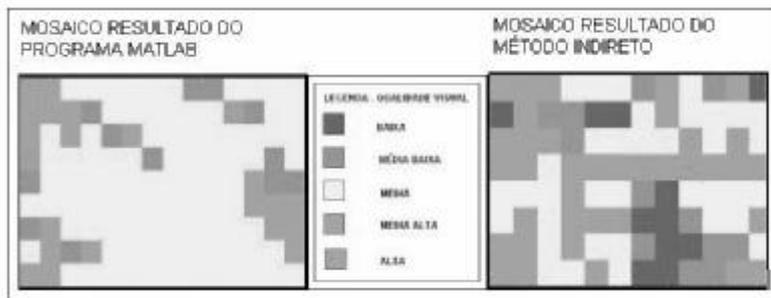
FONTE: AUTORES.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos com a realização do presente trabalho foram os seguintes: mosaico resultante do programa desenvolvido em ambiente MatLab; mapa de qualidade visual da paisagem obtido da interpretação do mosaico; e mosaico e mapa de qualidade visual obtido através da metodologia tradicional de avaliação da paisagem.

O mosaico (figura 02.a) proveniente da rotina computacional MatLab e, conseqüentemente, o mapa de qualidade visual da paisagem advindo do mesmo, apresentaram apenas quatro das cinco classes de qualidade visual estabelecidas. Destas cinco classes, houve a predominância da classe média de qualidade visual, originada das grandes áreas agrícolas e de campos e pastagens (figuras 03 e 04). As duas áreas de alta qualidade visual são composições de classes de vegetação nativa, água e afloramentos rochosos. As regiões de qualidade média alta são resultantes das mesmas combinações que originaram as áreas de alta qualidade, no entanto, com a participação de classes de agricultura e de campos e pastagem. Já as regiões de menor qualidade presente, ou seja, as de qualidade visual média baixa, foram devidas às combinações e classes de menores valores, como solo exposto e sua ocorrência junto à áreas agrícolas e campos.

FIGURA 02: MOSAICOS RESULTANTES DA APLICAÇÃO DA METODOLOGIAS EMPREGADAS. a) PROGRAMA MATLAB b) MÉTODO INDIRETO



FONTE: AUTORES.

O mosaico resultado da aplicação do método indireto de avaliação (figura 02.b), por conter um número maior de informações de cada quadrícula, mostra as cinco classes de qualidade visual de paisagem estabelecidas. Neste caso, as áreas de qualidade visual devem-se ao somatório do valor das características de cada quadrícula em cada fonte de avaliação (mapa de vegetação, cartas topográficas e imagem). Logo, é evidente que a avaliação ocorreu de uma maneira mais detalhada, resultando em um mosaico mais diversificado.

Neste mosaico observa-se que as áreas de baixa qualidade visual ocorrem em locais onde existem, principalmente, solo exposto e agricultura extensiva. Da mesma forma, as classes de qualidade média baixa, com o acréscimo de valor qualitativo devido à presença de água e vegetação nativa. Já as áreas de qualidade mediana devem-se às áreas agrícolas e de área urbana e rodovias. A qualidade visual média alta é representada pelas áreas onde o relevo é mais acentuado, ou seja, nas proximidades do cânion do Guartelá e na região Sudoeste da área de estudo onde ocorrem serras e morros isolados. Também a vegetação de porte e a presença de corpos d'água foram responsáveis pela qualidade visual média alta. Por último, as áreas de alta qualidade visual foram advindas principalmente da existência de rios, vegetação natural e alguns elementos pontuais, como afloramentos de rochas e intervenções antrópicas, no caso, pontes que permitem uma bela vista do seu entorno e, com isso, contribuem para alta na qualidade visual.

FIGURA 03: MAPA DE QUALIDADE VISUAL OBTIDO PELO PROGRAMA EM MATLAB.



FONTE: AUTORES.

Os mapas de qualidade visual (figuras 03 e 04), produzidos a partir da interpretação dos mosaicos resultantes do programa e da avaliação indireta, mostram os detalhes dos limites físicos das áreas de cada classe de qualidade visual. Nestes

mapas, tentou-se delinear as linhas que configuram a paisagem local de maneira a localizar e delimitar as regiões com uma ou outra qualidade visual. Verdade é que, apesar de se trabalhar com valores e critérios definidos e, portanto, com objetividade, a interpretação e representação do mapa de qualidade visual têm muito de subjetividade, uma vez que dependem do avaliador para traçar os limites físicos da qualidade representada por cada quadrícula.

FIGURA 04: MAPA DE QUALIDADE VISUAL OBTIDO PELO MÉTODO INDIRETO.



FONTE: AUTORES.

Estes mapas buscam mostrar as áreas de maior e menor apelo paisagístico, de maneira a tentar ser um instrumento para a intervenção dos agentes responsáveis pelo planejamento e desenvolvimento da região. Podem ser destacados, como áreas que merecem ter maiores critérios para sua utilização: as regiões dos cânions dos rios Iapó e Fortaleza, as margens do rio Tibagi e a região Sudoeste, nas proximidades do Morro do Jacaré, que têm um forte apelo cênico e podem (e devem) ser mais empregadas para a apreciação de suas paisagens; já as regiões com qualidade visual menos expressiva, que compreendem as áreas agrícolas extensivas e de desmatamento e solo exposto, por mais sazonais que sejam, podem ter suas utilizações planejadas, de modo a não denegrirem a paisagem regional por mais tempo que o necessário.

5. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos pela duas técnicas de avaliação da paisagem empregadas apresentam características próprias e algumas semelhanças, no entanto, são suas discrepâncias que mais chamaram a atenção. Dois resultados diferentes que se devem aos critérios empregados na obtenção de cada um. No programa, são analisadas todas as classes que ocorrem em cada quadrícula, porém, cada região (cada pixel) da quadrícula pertence necessariamente a apenas uma classe, o que não ocorre na outra forma de avaliação, onde cada região da quadrícula recebe um valor em função de cada fonte de informação analisada (mapa de vegetação, carta topográfica, imagem), havendo assim uma sobreposição de valores.

A metodologia tradicional de avaliação provou ser mais eficiente, gerando um mapa de qualidade de paisagem que permite a extração de uma quantidade maior de informações e detalhes e, conseqüentemente, tem maior aplicabilidade nas questões referentes ao planejamento regional da área em estudo.

A técnica de avaliação através do programa em ambiente MatLab mostrou-se adequada à finalidade proposta, no entanto, deve ainda ser tida como um resultado prévio, ou seja, pode ser empregada em conjunto com a metodologia tradicional para complementar o trabalho de valoração, visando maiores detalhamentos.

Para regiões onde não se dispõe de material cartográfico para a aplicação do método indireto, a rotina computacional desenvolvida pode se tornar, aliada às demais técnicas do Estudo da Paisagem e às implementações nos seus critérios de valoração, um ponto de partida para a avaliação de paisagens.

6. REFERÊNCIAS

ALVAREZ-ALFONSO, R.M. **Estúdio y valoración del pasaje**: territorio de Valderejo. Santander: Mom. de Magíster Univ. de Cantábria, 1990.

BOLÓS i CAPDEVILA, M. **Manual de Ciencia del paisaje**: teoría, métodos e aplicaciones. Barcelona: Masson S.A., 1992.

CANTERAS, J.C. **Introducción al Paisaje**. Curitiba: UFPR e Universidad de Cantabria, 1992.

FORMAN, R. T.T., GODRON, M.. **Landscape Ecology**. New York: John Wiley & Sons, 1986.

GRIFFITH, J.J. Análise dos Recursos Visuais do Parque da Serra da Canastra. **Brasil Florestal**, 9 (40): 13-21, 1979.

LAURIE, M. **Introducción a la arquitectura del paisaje**. Barcelona: Editorial Gustavo Gili S.A, 1976.

MAACK, R. **Geografia física do Paraná**. Curitiba, 1968.

NAVEH, Z. **Landscape ecology: theory and application**. New York: Springer-Verlag, 1994.

PIRES, P. S. **Avaliação da qualidade visual da paisagem na região carbonífera de Criciúma-SC**. Curitiba, 1993. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

PORTO, M. L. **Ecologia da paisagem**. Porto Alegre: UFRG, 1999.

ROCHA, C. H. **Ecologia da paisagem e manejo sustentável em bacias hidrográficas: Estudo do Rio São Jorge nos Campos Gerais do Paraná**. Curitiba, 1995. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

SEIBERT, P. Seminário – Manejo da paisagem e mapeamento da vegetação do Parque Estadual de Campos do Jordão. Publicação. **Instituto Florestal**. São Paulo, n.5, p. 1-198, 1974.

SILVA, E., ZAMPIERI, S. L., LOCH, C. **Paisagem: regressão e prognose como elementos para avaliação da ocupação e mudanças do espaço rural**. Universidade Federal de Santa Catarina, 1998. Disponível em: <<http://www.cartografia.org.Br/xixcbcc/artigos/c5/cv-10/cv10-99a.pdf>> Acesso em : 20.out.2001.

TIBAGI – Secretaria Municipal de Educação e Cultura. **Apostila do Município de Tibagi**. Tibagi, 2002a.

TIBAGI – Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Turismo. **Arquivo e material de divulgação**. Tibagi, 2002b.

VILLOTA, H. **Geomorfología aplicada a levantamientos edafológicos y zonificación física de las tierras**. Santa Fé de Bogotá: Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 1991.

7. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem às Secretarias Municipais de Meio Ambiente e Turismo, e de Educação e Cultura de Tibagi, PR; ao Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE); à Secretaria Estadual de Meio Ambiente do Paraná (SEMA); ao Instituto Ambiental do Paraná (IAP); à Universidade Federal do Paraná (UFPR); à Minerais do Paraná S.A (MINEROPAR.); à Arquiteta Carmem Leal e à Eng. Cartógrafa Andrea Tedesco.

DESENVOLVIMENTO DE UMA METODOLOGIA PARA A IDENTIFICAÇÃO AUTOMÁTICA DE PONTOS DE APOIO PRÉ-SINALIZADOS COM O USO DE REDES NEURAIIS ARTIFICIAIS E CORRELAÇÃO.

Romualdo Wandresen¹
Edson Aparecido Mitishita²
José Bittencourt de Andrade³

- 1 Universidade Federal do Paraná - wandrese@rla01.pucpr.br
- 1 Pontifícia Universidade Católica do Paraná - wandrese@rla01.pucpr.br
- 2 Universidade Federal do Paraná - mitishit@geoc.ufpr.br
- 3 Universidade Federal do Paraná - jbittencourt@bbs2.sul.com.br

RESUMO

Este trabalho visa apresentar os resultados obtidos até a presente data do desenvolvimento de uma metodologia para a identificação automática de imagens de pontos de apoio pré-sinalizados, existentes em aerofotos métricas coloridas, digitalizadas com resolução de 0, 025, tomadas com câmara aerofotogramétrica WILD RC-10, na escala de 1/8000, de uma região do Centro Politécnico, parte dos bairros Jardim das Américas, Jardim Botânico e Cajuru. Redes neurais artificiais e correlação estatística são as fundamentações matemáticas empregadas no algoritmo de identificação automática das imagens dos pontos de apoio pré-sinalizados existentes nas aerofotos. Apresenta-se, no desenvolvimento do trabalho uma integração entre redes neurais artificiais e correlação na identificação dos pontos de apoio pré-sinalizados. Finalmente, são fornecidas informações sobre o rastreo GPS nos pontos de apoio pré-sinalizados, com o propósito de ser realizada posteriormente uma aerotriangulação.

Palavras-Chave: Correlação; Pontos de Apoio; Redes Neurais.

ABSTRACT

This work aims at to present the results gotten until the present date of the development of a methodology for the automatic identification of images of abutments daily pay-signaled, existing in metric color aero photos, digitalized with resolution of 0,025, taking with aerophotogrammetry camera WILD RC-10, in the scale of 1/8000, of a region of the Centro Politécnico, part of Jardim das Américas, Jardim Botânico and Cajuru. Artificial neural networks and correlation statistics are the used mathematical ground in the algorithm of automatic identification of the images of the existing signalized points in the aero photos. It is presented, in the development of the work integration between artificial neural network and correlation in the identification of the signaled points. Finally, information on tracing GPS in the signaled points are supplied, with the intention of being carried through later an aerotriangulation.

Keywords: Correlation; Artificial Neural Networks; Signalized Points

1 TRABALHOS DE CAMPO

Após a escolha da região de estudos, com o auxílio de mapas topográficos e fotos aéreas, foram pré-sinalizados trinta e dois pontos de apoio, sendo dezesseis em forma de círculo contido num quadrado com lado três vezes a dimensão do diâmetro do círculo e 16 em forma de cruces com dimensões adequadas ao vôo aerofotogramétrico na escala de 1/8000. Os trinta e dois pontos foram sinalizados de forma que apareçam nas fotos aproximadamente nas regiões de Von Grueber e aos pares, sendo um em forma de cruz e outro em forma de círculo contido no quadrado, com a finalidade de se verificar qual tipo de ponto melhor se adapta para a identificação com o uso de redes neurais artificiais e correlação. Sinalizaram-se os pontos sempre sobre regiões com asfalto, usando tintas comuns de pintar paredes nas cores preta e branca, com a finalidade de se obter bom contraste na identificação dos referidos pontos nas fotos aéreas.

O vôo teve o seu planejamento feito de forma a abranger a área descrita no parágrafo anterior. Foi planejada uma faixa com 5 fotos, sendo as coordenadas do centro da primeira foto: $\varphi = 25^{\circ}27'43",26610S$; $\lambda = 49^{\circ}14'14",1373W$ e as coordenadas do centro da quinta foto: $\varphi = 25^{\circ}26'23",4924S$; $\lambda = 49^{\circ}14'15",2992W$. A escala de cada foto foi planejada para ser de 1:8000. O vôo foi executado logo a seguir, no ano de 2002, pela empresa Aerosat de Curitiba.

FIGURA 01 – PONTO PRÉ-SINALIZADO CIRCULAR



FIGURA 02 – PONTO PRÉ-SINALIZADO CRUZ



Nas figuras 01 e 02 estão representadas partes de uma aerofoto da região do trabalho as quais contém respectivamente os pontos pré-sinalizados em formas circular e em cruz.

2 IMPLEMENTAÇÃO DOS ALGORITMOS DE IDENTIFICAÇÃO

Para a identificação dos pontos pré-sinalizados, utilizou-se a fundamentação matemática baseada em redes neurais artificiais e correlação estatística. A técnica de Retropropagação (Feedforward e Backpropagation) é a mais difundida e utilizada em Redes Neurais Artificiais para o reconhecimento de padrões. Esta técnica consiste em “retropropagar” os erros nos neurônios a partir da camada de saída e a

seguir atualizar os pesos na camada de entrada e nas demais camadas (escondidas e de saída).

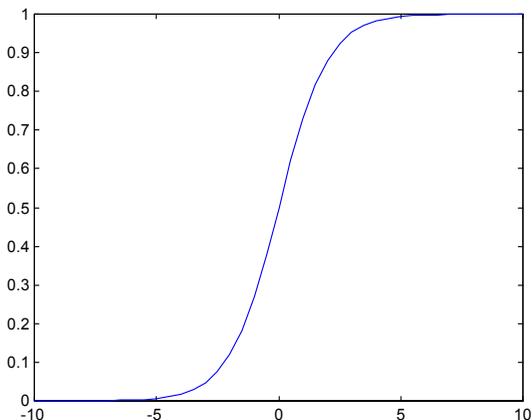
A rede neural foi treinada por Retropropagação com o conjunto de treinamento contendo os valores dos tons de cinza dos "pixels" de dois símbolos distintos de cruz, dois símbolos distintos de círculos, bem como partes da imagem da foto aérea. O conjunto de treinamento está representado na FIGURA 03

FIGURA 03 – CONJUNTO DE TREINAMENTO



A estrutura de rede neural que melhor se adaptou para o conjunto de treinamento descrito é aquela com duas camadas escondidas, sendo a primeira com três neurônios e função de transferência logística sigmóide e a segunda com um neurônio e função de transferência também denominada logística sigmóide, representada na FIGURA 04 A função de transferência sigmóide foi escolhida pelo fato de aqui se ter apenas dois tipos de saída: a feição representando um alvo (saída 1) ou a feição não representando um alvo (saída 0). A função sigmóide apresenta os seus valores no intervalo (0,1), sendo que 1 é o seu limiar.

FIGURA 04 – FUNÇÃO SIGMÓIDE

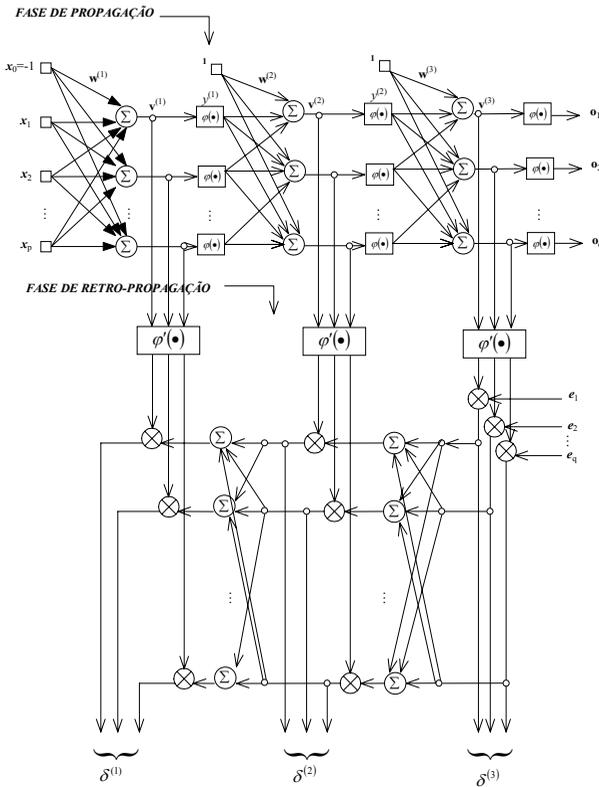


2.1 ALGORITMO DE RETROPROPAGAÇÃO (“BACKPROPAGATION”)

O termo *retropropagação* (backpropagation), refere-se a um método de treinamento empregado na arquitetura do Perceptron de múltiplas camadas, no qual os pesos das conexões são ajustados pela retropropagação de erro. Esta retropropagação consiste de dois passos através das diferentes camadas da rede: um passo para frente, a *propagação*, e um passo para trás, a *retropropagação*. No passo de propagação, os pesos sinápticos são invariáveis. No *passo para trás*, os pesos sinápticos são *ajustados* por uma regra de correção de erro que consiste na diferença entre a resposta real da rede e a resposta desejada. Isto produz um sinal de erro, que é propagado para trás através da rede em direção contrária às conexões sinápticas.

A FIGURA 05 apresenta um fluxograma da fase de propagação, na parte superior e de retro-propagação na parte inferior da mesma. As notações usadas nesta figura são as seguintes (HAYKIN, 1994):

FIGURA 05: FLUXOGRAMA PARA RETROPROPAGAÇÃO



- $w^{(l)}$ = vetor dos pesos sinápticos de um neurônio na camada l , incluído o “bias”
 $v^{(l)}$ = vetor do nível de atividade interna da rede dos neurônios na camada l
 $y^{(l)}$ = vetor das aplicações da função de ativação dos neurônios na camada l
 $\delta^{(l)}$ = vetor dos gradientes locais dos neurônios na camada l
 e = vetor dos erros representados pelos elementos $e_1, e_2, e_3, \dots, e_q$. O índice

l varia desde $l = 0$ na camada de entrada até $l = L$, na camada de saída. No fluxograma da FIGURA 05 tem-se $L = 3$. Na parte inferior deste fluxograma está representada a fase de retro-propagação “backward”, onde são calculados os gradientes locais.

As etapas para o treinamento de uma rede neural com o uso do algoritmo de retro-propagação para o treinamento do conjunto de dados $\{\mathbf{x}(n), \mathbf{d}(n)\}; n=1, 2, \dots, N\}$, onde \mathbf{x} é o vetor de entrada e \mathbf{d} é o vetor resposta desejada são apresentadas a seguir:

- I. Inicialização: Determina-se uma configuração para a rede neural: número de camadas e número de neurônios em cada camada. Atribuem-se valores aleatórios aos pesos sinápticos e “bias”. Segundo (HAYKIN, 1994) estes pesos devem ser pequenos e uniformemente distribuídos.
- II. Apresentação dos exemplos de treinamento: Apresenta-se à rede os exemplos de treinamento, para que sejam treinados em uma iteração (época). Para cada exemplo no conjunto ordenado de alguma maneira, executam-se as fases para frente “forward” e para trás “backward”, nas etapas III e IV, respectivamente.
- III. Computação para frente (“forward”): Se um exemplo de treinamento da época é representado por $\{\mathbf{x}(n), \mathbf{d}(n)\}; n=1, 2, \dots, N\}$, com o vetor de entrada $\mathbf{x}(n)$, aplicado à camada de entrada de nós computacionais, ocorre o campo local induzido. O campo local induzido para o neurônio j é dado por:

$$v_j^{(l)}(n) = \sum_{i=0}^{m_0} w_{ji}^{(l)}(n) y_i^{(l-1)}(n) \quad (1)$$

onde $y_i^{(l-1)}(n)$ é valor da função de ativação da saída do neurônio i na camada anterior $(l-1)$, na iteração (época) n e $w_{ji}^{(l)}$ é o peso sináptico do neurônio j da camada l , que é alimentado pelo neurônio

j da camada $l-1$. A função de ativação é a função sigmóide e desta forma a saída do neurônio j na camada l é obtida por:

$$y_j^{(l)}(n) = \frac{1}{1 + e^{-v_j^{(l)}(n)}} \quad (2)$$

Se o neurônio j está na primeira camada, então $l = 1$ e

$$y_j^{(0)}(n) = x_j(n) \quad (3)$$

onde $x_j(n)$ é o j -ésimo elemento do vetor de entrada $x(n)$.

Se o neurônio j está na camada de saída, então $l = L$ e

$$y_j^{(L)}(n) = o_j(n) \quad (4)$$

Calcula-se o erro:

$$e_j^{(L)}(n) = d_j(n) - o_j(n) \quad (5)$$

onde $d_j(n)$ é o j -ésimo elemento do vetor resposta desejado

IV. Retropropagação

Cálculo dos gradientes locais da rede, camada por camada:

- Para a camada de saída L :

$$\delta_j^{(L)}(n) = e_j^{(L)}(n) o_j(n) [1 - o_j(n)] \quad (6)$$

- Para a camada escondida l

$$\delta_j^{(l)}(n) = y_j^{(l)}(n) \{1 - y_j^{(l)}(n)\} \sum_k \delta_k^{(l+1)}(n) w_{kj}^{(l+1)}(n) \quad (7)$$

$$j = 1, 2, 3, \dots, p \quad k = 1, 2, 3, \dots, q$$

V. Ajuste dos pesos sinápticos na camada l

$$w_{ji}^{(l)}(n+1) = w_{ji}^{(l)}(n) + \alpha \{w_{ji}^{(l)}(n) - w_{ji}^{(l)}(n-1)\} + \eta \delta_j^{(l)}(n) y_j^{(l-1)}(n), \quad (8)$$

$$l = 1, 2, \dots; i = 1, 2, \dots, p; j = 1, 2, \dots, q$$

onde α é a constante momento e η é a taxa de aprendizagem

VI. Iteração

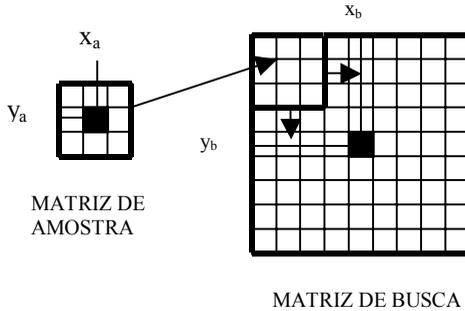
Reiteram-se os cálculos, pela apresentação de nova época de treinamento, repetindo-se os passos de II até V, até que os parâmetros da rede estabilizem os seus valores.

2.2 ALGORITMO DE CORRELAÇÃO ESTATÍSTICA

A correlação estatística é utilizada juntamente com a identificação dos pontos de apoio com a finalidade de ser evitada ambigüidades nesta identificação. O seu algoritmo é resumido por:

No tratamento digital de imagens, entende-se por *correlação* a comparação de imagens para a identificação de pontos homólogos que melhor se adaptam de uma imagem chamada de *referência* com outra imagem denominada *imagem de busca*. Na imagem de referência, escolhe-se uma *matriz de amostra* e se faz percorrer “pixel” a “pixel” esta matriz em uma janela na imagem homóloga. Calcula-se, então, para cada posição da matriz de amostra, um valor de comparação, conforme ilustrado na FIGURA 06 (ANDRADE, 1998).

FIGURA 06: MATRIZES DE AMOSTRA E DE BUSCA



A correlação estatística entre a matriz de amostra e a matriz de busca é (ANDRADE,1998):

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n x_i \right) \left(\sum_{i=1}^n y_i \right)}{\sqrt{\left(\sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2 \right) \left(\sum_{i=1}^n y_i^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n y_i \right)^2 \right)}} \quad (9)$$

onde:

x_i = Valor da cor no "pixel" i na matriz de amostra;

y_i = Valor da cor no "pixel" i na matriz de busca;

n = número de "pixels" da matriz de amostra;

r = valor da correlação.

2.3 ESTRATÉGIA DA PIRÂMIDE

Com o objetivo de diminuir o esforço computacional, implementou-se o algoritmo com base na estratégia da "pirâmide" (LIN, CHEN, 1998). No presente trabalho tal estratégia consiste em substituir, em um nível quatro "pixels" pela média aritmética entre eles. Tal estratégia faz com que o número de "pixels" e com isso o tempo de identificação de um ponto de apoio pré-sinalizado também decresce.

3 EXPERIMENTOS

A seguir apresentam-se os resultados de alguns experimentos ao ser utilizado a identificação de dois pontos pré-sinalizados em forma de cruz em uma região da área de estudo no Centro Politécnico, representada na FIGURA 07.

Na TABELA 01 estão apresentados os resultados da aplicação da identificação dos dois pontos pré-sinalizados em forma de círculo que estão na FIGURA 07, com a aplicação do MATLAB, usando a estratégia de "Backpropagation" e com o uso do conjunto de treinamento mostrado na FIGURA 03.

Na TABELA 01, nas duas primeiras colunas estão representadas as posições do "pixel" central do suposto alvo circular. Na imagem correspondente à TABELA 01, que apresenta 474840 "pixels", sendo que cada "pixel" é um quadrado de 0,024mm, foram verificadas oito ambigüidades (resultados que não indicam a posição de alvos pré-sinalizados). Por outro lado, a TABELA 02, apresenta apenas as posições do "pixel" central dos dois alvos circulares que aparecem na FIGURA 07.

FIGURA 07 – ÁREA DOS EXPERIMENTOS



TABELA 01 – IDENTIFICAÇÃO COM REDE NEURAL

Linha	Coluna	Simulação
50 (ALVO)	46	0,99999521
62	512	0,99999579
116	332	0,99999465
186	628	0,99999294
202	538	0,99999846
334	16	0,99999024
336	406	0,99998667
358	66	0,99998794
370	698	0,99998711
598 (ALVO)	690	0,99999613
598 (ALVO)	692	0,99999882

TABELA 02 – IDENTIFICAÇÃO COM REDE NEURAL E CORRELAÇÃO

Linha	Coluna	Simulação	Correlação
53 (ALVO)	45	0,99999107	0,81738329
599 (ALVO)	691	0,99999646	0,71342168

A terceira coluna das tabelas 01 e 02 apresenta os resultados da simulação, os quais, para o alvo identificado, deve tender para o valor limite 1 (WANDRESEN et alii, 2002).

Além disso, o esforço computacional para a obtenção da primeira tabela foi de 31 minutos e para a segunda tabela de 25 minutos. A diminuição do tempo para a obtenção dos resultados da segunda tabela, apesar de ter aumentado o tamanho do algoritmo deve-se ao fato de que aí foi utilizado o processo da pirâmide no seu primeiro nível.

4 RASTREIO GPS

As coordenadas geodésicas de trinta e dois pontos de apoio pré-sinalizados foram determinadas com base em levantamento geodésico GPS. As coordenadas geodésicas obtidas neste levantamento serão importantes na etapa posterior à identificação automática, para verificar a exatidão da metodologia desenvolvida. Esta verificação

poderá ser feita, com o processamento da aerotriangulação e análise dos resultados obtidos, onde a identificação dos pontos de apoio será feita automaticamente em trabalho futuro, pela metodologia desenvolvida. Nas FIGURAS 08 e 09 é apresentado o rastreo de um ponto em forma de círculo e outro em forma de cruz, respectivamente.

FIGURA 08 – PONTO PRÉ-SINALIZADO CIRCULAR



FIGURA 09 – PONTO PRÉ-SINALIZADO EM CRUZ



5 CONCLUSÃO

No presente trabalho, realizou-se treinamento para a identificação dos alvos de forma circular, isto porque com base em pesquisas anteriores, pontos de apoio em forma circular havia mostrado melhores resultados do que em forma de cruz com alvos desenhados (pintados) em uma parede vertical (WANDRESEN et alli,2002). Observa-se que as ambigüidades obtidas na identificação dos pontos pré-sinalizados em forma de cruz são eliminadas quando se integra o algoritmo de correlação estatística com redes neurais. Observa-se também a eficácia do uso do algoritmo da pirâmide para o decréscimo do esforço computacional na identificação de um ponto de apoio pres-sinalizado.

6 REFERÊNCIAS

ANDRADE, José Bittencourt. **Fotogrametria**. Curitiba: SBEE, 1998, 258p.

HAYKIN, Simon. **Neural Networks. A Comprehensive Foundation**. New York: IEEE Computer Society Press, 1994, 696p.

LIN, Chia-Wen; CHANG, Yao-Jen. **Hierarchical Motion Estimation Algorithm Based on Pyramidal Successive Elimination**. In: INTERNATIONAL COMPUTER SYMPOSIUM (October 1998 : Taywan)

WANDRESEN, Romualdo; MITISHITA, Edson A. ; ANDRADE, José Bittenncourt. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOMÁTICA (Julho 2002: Presidente Prudente)

7 AGRADECIMENTOS

Aos acadêmicos Rodrigo Quirino e Lígia , do Curso de Engenharia Cartográfica da Universidade Federal do Paraná , pelo inestimável apoio recebido nas fases de implementação dos pontos de apoio pré-sinalizados na área de estudos, bem como no rastreo GPS.

À Empresa Aerosat – Aerolevantamentos, pela cobertura aerofotográfica realizada, viabilizando desta forma este trabalho.

MONORESTITUIÇÃO PLANIMÉTRICA DE ARRUAMENTOS URBANOS COM BASE EM IMAGENS DIGITAIS DE CÂMARA DE VÍDEO TOMADAS DE HELICÓPTERO

Michele Beppler¹
Edson A. Mitishita²
Com. Aviador Jorge Sikorski³

¹Aluna do Curso de Engenharia Cartográfica – Programa de Iniciação Científica – michelebeppler@bol.com.br

²Professor do Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésica – UFPR – mitishit@geoc.ufpr.br

³Sikorski Aerocinematografia - geobb@geobb.com.br

RESUMO

Com o desenvolvimento das técnicas de mapeamento fotogramétrico de baixo custo baseado em Monorestituição digital, a utilização de imagens digitais provenientes de câmaras de vídeo pode ser uma alternativa eficiente para a obtenção de informações métricas da superfície terrestre em várias aplicações das Engenharias.

As facilidades operacionais para a realização do recobrimento aéreo, na escolha de imagens mais apropriadas para a realização da monorestituição e a existência de menor custo no processo de obtenção das imagens têm aumentado a utilização deste sensor nos procedimentos fotogramétricos métricos.

A essa técnica dá-se o nome de Videogrametria. Nos últimos tempos devido as maiores resoluções das câmaras de vídeo digitais e a queda de seus preços tem permitido uma maior utilização prática das imagens de vídeo na resolução de problemas métricos e não métricos de obtenção de informações espaciais da superfície terrestre.

Visando verificar a viabilidade técnica e operacional da monorestituição de arruamentos urbanos a partir de imagens tomadas de câmara de vídeo e helicóptero, apresentam-se os resultados obtidos nas principais etapas realizadas no desenvolvimento da pesquisa realizada.

As imagens digitais foram provenientes de uma câmara de vídeo marca HITACHI, modelo ½ inch IT CCD HV-C10A, com resolução de 682 x 492 “pixels”, a bordo de um helicóptero ROBINSON R-44 NEWSOPTER.

Para fins de comparação da exatidão posicional do mapeamento planimétrico obtido com a monorestituição das imagens digitais de vídeo, foi realizada a monorestituição

da mesma área com a utilização de aerofotos métricas na escala de 1/6000, provenientes de câmara aerofotogramétrica métrica WILD RC-10, digitalizadas com resolução do “pixel” de aproximadamente 0.025 mm.

Palavras-chave: Monorestituição; Videogrametria; Mapeamento planimétrico

ABSTRACT

With the development of the low cost photogrammetric techniques based on digital monocular restitution, the use of coming digital images of video cameras can be an efficient alternative for the obtaining of metric information of the terrestrial surface in several applications of the Engineering.

The operational means for the accomplishment of the aerial coverage, in the choice of more appropriate images for the accomplishment of the monocular restitution and the existence of smaller cost in the process of obtaining of the images have been increasing the use of this sensor one in the photogrammetric procedure.

The technique feels the name of Airborne Videography. In the last times owed the largest resolutions of the digital video cameras and the fall of their prices has been allowing a larger practical use of the video images in the metric problem solve and no metric of obtaining of space information of the terrestrial surface.

Seeking to verify the technical and operational viability of the monocular restitution of urban streets starting from taken images of video camera and helicopter, they come the results obtained in the main stages accomplished in the development of the accomplished research.

The digital images were coming of a video camera marks HITACHI, I model ½ inch IT CCD HV-C10A, with resolution of 682 x 492 “pixels”, on board of a helicopter ROBINSON R-44 NEWSOPTER.

For ends of comparison of the accuracy position the planimetric mapping obtained with the monocular restitution of the digital images of video, the monocular restitution of the same area was accomplished with the use of metric aerial photographs in the scale of 1/6000, coming of the photogrammetric camera WILD RC-10, scanned with resolution of the “pixel” of approximately 0.025 mm.

Keywords: Monocular Restitution; Airborne Videograph; Planimetric Mapping.

1. INTRODUÇÃO

Com o desenvolvimento das técnicas de mapeamento fotogramétrico de baixo custo baseado em Monorestituição digital, a utilização de imagens digitais

provenientes de câmaras de vídeo tornou-se uma alternativa eficiente em vários aspectos para a obtenção de informações métricas da superfície terrestre em várias aplicações das Engenharias.

As facilidades operacionais para a realização do recobrimento aéreo, maiores resoluções das câmaras de vídeo digitais, a escolha de imagens mais apropriadas para a realização da monorestituição e o baixo custo na obtenção das imagens têm aumentado sua utilização na resolução de problemas métricos e não métricos de obtenção de informações espaciais da superfície terrestre.

A essa técnica dá-se o nome de Videogrametria. A videogrametria é definida como sendo a arte, a ciência e a tecnologia de se obter informações confiáveis sobre os objetos físicos e do meio ambiente por meio de processos de gravação, medição e interpretação de cenas de vídeo e padrões de energia eletromagnética. Como qualquer outra técnica de levantamento a videogrametria apresenta uma série de vantagens e desvantagens. Podemos citar como vantagens o baixo custo na obtenção das imagens, a facilidade no processamento dessas imagens, a opção de escolher as melhores imagens já que a câmara fornece trinta imagens por segundo. Como desvantagens podemos citar a baixa precisão quando comparada aos métodos convencionais de fotogrametria, a pequena área de recobrimento da imagem e a necessidade de um maior número de pontos de apoio para se efetuar as orientações de cada foto.

Neste trabalho foi verificado o desempenho da monorestituição de imagens de vídeo para a obtenção do mapeamento planimétrico de arruamentos urbanos. Foi também realizada a obtenção das informações altimétricas, a partir da técnica de varredura monoscópica para a geração do DTM da região a ser monorestituída, ver maiores detalhes em TREVIZAN e MITISHITA, 2001. Para fins de comparação e verificação da viabilidade técnica da videogrametria, realizou-se a monorestituição da mesma região trabalhada com as imagens de vídeo, utilizando-se de aerofoto métrica na escala de 1/6000, tomada com câmara aerofotogramétrica WILD RC-10.

2. RECOBRIMENTO AÉREO COM CÂMARA DE VÍDEO A BORDO DO HELICÓPTERO

A região do bairro Jardim das Américas, próximo ao Centro Politécnico – Curitiba – Paraná, foi recoberto com a câmara de vídeo para ser utilizada como área piloto para o desenvolvimento da pesquisa proposta. Foi planejado recobrimento aéreo na escala aproximada de 1/12500 (altura de vôo aproximada de 500 pés). Nesta escala um “pixel” tem a dimensão linear aproximada de 0,25 metros. O lado maior da imagem (692 “pixels”) ficou com uma dimensão linear aproximada de 170 metros. Duas faixas foram realizadas. O recobrimento lateral entre elas foi de

aproximadamente 30%. Maiores detalhes sobre o recobrimento aéreo com câmara de vídeo utilizado podem ser encontrados em MITISHITA et al, 2001.

3. AEROTRIANGULAÇÃO DAS IMAGENS DIGITAIS DA REGIÃO DE INTERESSE

Aerotriangulação por feixes de raios (ajustamento simultâneo de imagens) foi realizada com trinta e duas imagens para determinar as coordenadas dos parâmetros de orientação exterior das imagens e coordenadas de pontos fotogramétricos fotoidentificáveis. Os pontos de apoio e suas coordenadas, necessários para a realização da aerotriangulação foram obtidos do recobrimento aerofotogramétrico métrico na escala de 1/6000 (Câmara WILD RC-10), existente na região. Estes pontos foram detalhes pontuais fotoidentificáveis nas imagens de vídeo e na aerofoto. As coordenadas tridimensionais foram obtidas a partir de modelo orientado e lido no Sistema Fotogramétrico Analítico ZEISS PLANICOMP – C100 – UFPR. Ver maiores detalhes em MITISHITA et al., 2001^B.

4. ORIENTAÇÕES INTERIOR E EXTERIOR REALIZADAS

No processo de monorestituição realizada neste trabalho, tanto as aerofotos métricas como a imagens de vídeo tiveram suas orientações interior e exterior realizadas. Na orientação interior são obtidos os parâmetros de transformação de coordenadas entre o referencial de máquina e o referencial fiducial e os parâmetros de transformação de coordenadas do referencial fiducial para o referencial fotogramétrico, além de corrigir as deformações decorrentes do trabalho do filme e distorções radial simétrica e descentrada existentes no processo. Informações sobre a calibração da câmara de vídeo e parâmetros geométricos necessários ao restabelecimento da geometria projetiva podem ser vistas em MITISHITA et al., 2001^A.

Na orientação exterior determinam-se os parâmetros de orientação e posição de cada foto e imagem, necessários para o procedimento de monorestituição. Após essas etapas temos os parâmetros necessários para as transformações matemáticas que possibilitam a transformação de coordenadas do referencial fotogramétrico para o geodésico local plano, empregado na monorestituição.

Para a realização das orientações interior e exterior são necessárias as leituras das marcas fiduciais e dos pontos de apoio nas aerofotos e nas imagens de vídeo. Para isso, foram utilizados os programas “MicroStation PC” e “IRASC”. Como a câmara de vídeo não possui marcação de marcas fiduciais, foram utilizados os quatro cantos da imagem como sendo as “marcas fiduciais”, ficando o centro da

imagem como sendo a origem do referencial plano (linhas x colunas) adotado como sendo “fiducial”.

Na orientação interior das aerofotos obtivemos uma média dos resíduos de 0.006 mm em x, de 0.004 mm em y . Para as imagens de vídeo os resíduos ficaram abaixo de 1,0 mm. Na orientação exterior das aerofotos obtivemos uma média dos resíduos de 0.14 m em X, de 0.13 m em Y e de 0.06 m em Z. Para as imagens de vídeo as médias dos resíduos da orientação exterior foram de 0.08 m em X, de 0.06 m em Y e de 0.03 m em Z.

Nos quadros abaixo, são apresentados os resíduos obtidos nas orientações interior e exterior realizadas em uma aerofoto e uma imagem de vídeo.

Quadro 1- Resíduos obtidos na Orientação Interior Analítica da Aerofoto Métrica

Marca	Vx (mm)	Vy(mm)	Rvxyz(mm)
1	0,006	0,004	0,008
2	-0,006	-0,004	0,008
3	0,006	0,004	0,008
4	-0,006	-0,004	0,008

Quadro 2: Resíduos obtidos na Orientação Exterior da Aerofoto Métrica

Ponto	Vx(m)	Vy(m)	Vz(m)
200	0.39	-0.298	0.039
300	0.303	-0.043	0.204
3124	-0.201	0.167	-0.189
3123	-0.022	0.04	-0.029
3122	0.179	0.084	-0.051
4106	-0.155	-0.01	0.047
4105	-0.237	0.102	0.053
4104	-0.18	0.44	-0.155
310	-0.036	0.071	-0.001
3127	0.016	-0.115	0,000
3126	0.019	-0.179	0.004
3125	0.091	-0.162	-0.006
4109	0.082	0.067	-0.026
4108	-0.25	-0.089	0.105
4107	0.001	-0.075	0.003

Quadro 3 - Resíduos obtidos na Orientação Interior Analítica da Imagem de vídeo

Marca	Vx (mm)	Vy(mm)	Rvxyz(mm)
1	0,000	0,000	0,000
2	0,000	0,000	0,000
3	0,000	0,000	0,000
4	0,000	0,000	0,000

Quadro 4 - Resíduos obtidos na Orientação Exterior da Imagem de vídeo

Ponto	Vx(m)	Vy(m)	Vz(m)
46	-0.162	0.094	-0.056
47	0.039	0.066	0.028
48	0.072	-0.05	-0.039
49	-0.091	-0.08	0.001
50	-0.086	0.023	0.04
52	-0.085	-0.02	0.003
51	0.051	-0.068	-0.056
520	0.129	0.025	0.018
54	0.12	0.082	0.089
53	0.014	-0.073	-0.027

Considerando a escala média da aerofoto métrica e a resolução de um “pixel” no terreno, equivalente a 0,24 m , verifica-se que as precisões obtidas nas orientações interior e exterior realizadas encontram-se dentre dos limites de discrepâncias toleradas.

5. OBTENÇÃO DAS INFORMAÇÕES ALTIMÉTRICAS DA REGIÃO

Modelo digital do terreno ou DTM é um conjunto de pontos amostrados da superfície real, com coordenadas espaciais num dado referencial, e algoritmos que possibilitem construir um modelo matemático que reproduza da melhor maneira possível o comportamento altimétrico da superfície real (OSTMAN, 1978).

Utilizando-se um par de aerofotos métricas, proveniente do recobrimento aerofotogramétrico métrico na escala 1/6000, foi realizada a varredura monoscópica no Sistema MonoRestituídor Digital para a obtenção de pontos e suas coordenadas

tridimensionais (X,Y,Z) para a definição do DTM da região a ser monorestituída, ver maiores detalhes em MITISHITA, 1997 e TREVIZAN e MITISHITA, 2001.

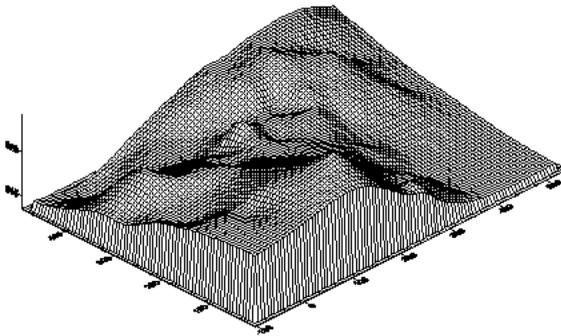
No programa “MicroStation PC”, utilizando o programa de varredura denominado de “Varre” foram lidos aproximadamente 300 pontos homólogos nas aerofotos métricas que constituem o modelo fotogramétrico. Realizando-se a formação analítica do modelo (intercessão de raios), obtém-se as coordenadas tridimensionais, no referencial geodésico dos pontos lidos.

A escolha dos pontos lidos procedeu-se da seguinte maneira: Nas regiões onde existiam as maiores irregularidades topográficas houve uma maior concentração de pontos e nas regiões mais planas, os pontos lidos foram mais espaçados.

Como o processo de varredura monoscópica, obteve-se uma malha irregular de aproximadamente 300 pontos, definidores do relevo da região a ser trabalhada. Utilizando-se o programa “SURFER”, ver SURFER7, 1999, foi gerado uma malha regular de pontos com espaçamento de 10 metros, perfazendo um total de 3.300 pontos.

Apresenta-se na figura 01 uma vista tridimensional de região a ser monorestituída.

Figura 1 – Vista tridimensional da região de interesse



6. MONORESTITUIÇÃO PLANIMÉTRICA DE ARRUAMENTOS COM IMAGENS DIGITAIS PROVENIENTES DA CÂMARA DE VÍDEO

Monorestituição é o processo de restituição de uma imagem digital, baseada em visão monocular que permite obter informações planimétricas. Esse processo baseia-

se nas equações de colinearidade inversas e nas informações altimétricas obtidas através do DTM.

Tem como objetivo transformar coordenadas fotogramétricas em coordenadas geodésicas locais, e a partir daí, outra transformação é realizada para um sistema de projeção cartográfica adotado.

Com as informações altimétricas provenientes da varredura monoscópica de aerofotos métricas na escala de 1/6000 e os pontos de apoio com suas coordenadas planialtimétricas provenientes da aerotriangulação realizada, as imagens de vídeo selecionadas foram devidamente orientadas e os arruamentos existentes foram monorestituídos, empregando o Sistema Monorestituídor Digital. Maiores detalhes sobre o sistema fotogramétrico Monorestituídor Digital podem ser obtidos em MITISHITA e MACHADO, 1999.

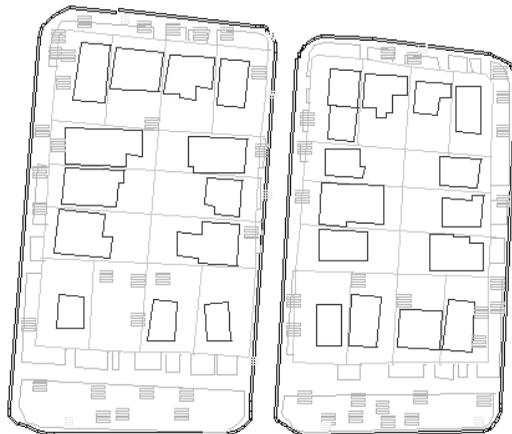
O processo de monorestituição tem como vantagens à restituição de baixo custo e a facilidade operacional, mas como desvantagens ela apresenta a menor exatidão no processo, as dificuldades no reconhecimento das entidades durante a digitalização e pelo fato dela proporcionar somente a planimetria.

Suas principais etapas são a preparação das aerofotos, a orientação interior, a orientação espacial aproximada, a orientação espacial exata e a obtenção das informações altimétricas da região a ser monorestituída.

As entidades monorestituídas neste trabalho foram os arruamentos, postes, árvores e divisas de lotes.

A figura 02 tem-se um exemplo de uma monorestituição planimétrica de uma imagem de vídeo realizada.

Figura 2- Monorestituição de Imagem Digital de Vídeo



7. MONORESTITUIÇÃO PLANIMÉTRICA DE ARRUAMENTOS COM AEROFOTO MÉTRICA

As etapas de trabalho empregadas nesta etapa de trabalho são as mesmas utilizadas na monorestituição digital de imagens de vídeo. Verificou-se no processo de monorestituição de aerofotos métricas uma maior facilidade para o reconhecimento das entidades planimétricas de interesse quando comparadas com as imagens de vídeo, mesmo sendo a aerofoto em preto e branco e a imagem de vídeo colorida. Outra vantagem, está ligada com facilidades operacionais, pois a aerofoto métrica recobre uma grande área, minimizando as etapas de trabalho de orientações fotogramétricas.

8. COMPARAÇÃO DE RESULTADOS

Os resultados obtidos com as duas técnicas de monorestituição empregadas foram comparados. Extraiu-se coordenadas planimétricas de detalhes pontuais de fácil identificação nos arquivos planimétricos monorestituídos, provenientes das imagens de vídeo e aerofotos, e assim possibilitou a análise das discrepâncias existentes entre as mesmas. Admitiu-se neste trabalho que os resultados obtidos com a monorestituição das aerofotos métricas são mais exatos.

Visando verificar a viabilidade técnica e operacional da monorestituição de arruamentos urbanos a partir de imagens tomadas de câmara de vídeo e helicóptero, apresenta-se nos quadros 5, 6, 7 e 8 os resultados obtidos na comparação planimétrica da monorestituição com imagens de vídeo e com aerofotos.

Quadro 5 - Diferenças entre as coordenadas planimétricas para edificações

	Tipo	Este(m)	Norte(m)	DE(m)	DN(m)
Edificações					
1	aerofoto	677749.60	7183215.22	1.27	1.12
	vídeo	677748.33	7183216.34		
2	aerofoto	677803.99	7183344.30	0.63	3.71
	vídeo	677803.36	7183348.01		
3	aerofoto	677830.36	7183392.88	0.49	3.02
	vídeo	677829.87	7183395.90		
4	aerofoto	677804.31	7183454.74	0.96	2.20
	vídeo	677803.35	7183456.94		
5	aerofoto	677801.10	7183439.26	0.87	1.41
	vídeo	677800.23	7183440.67		

6	aerofoto	677865.03	7183163.71	0.22	0.49
	vídeo	677864.81	7183164.20		
7	aerofoto	677875.40	7183363.47	1.77	0.32
	vídeo	677873.63	7183363.79		
8	aerofoto	677912.04	7183265.33	0.63	1.21
	vídeo	677911.41	7183264.12		
9	aerofoto	677981.06	7183416.20	0.98	0.14
	vídeo	677980.08	7183416.06		
10	aerofoto	677970.25	7183394.29	0.72	1.14
	vídeo	677969.53	7183393.15		
Média absoluta das discrepâncias				0.76	1.47

Quadro 6 - Diferenças entre as coordenadas planimétricas para divisas de propriedade

	Tipo	Este(m)	Norte(m)	DE(m)	DN(m)
Divisa					
1	aerofoto	677771.38	7183234.61	0.61	1.00
	vídeo	677770.77	7183235.61		
2	aerofoto	677704.63	7183230.64	1.07	1.62
	vídeo	677703.56	7183232.26		
3	aerofoto	677770.09	7183414.00	0.25	1.10
	vídeo	677769.84	7183415.10		
4	aerofoto	677826.78	7183362.91	0.45	1.34
	vídeo	677826.33	7183364.25		
5	aerofoto	677826.52	7183483.66	1.47	1.60
	vídeo	677825.05	7183485.26		
6	aerofoto	677836.35	7183289.21	1.03	0.72
	vídeo	677835.32	7183289.93		
7	aerofoto	677798.16	7183204.33	0.63	0.48
	vídeo	677797.53	7183204.81		
8	aerofoto	677872.85	7183370.05	1.11	1.42
	vídeo	677871.74	7183371.47		
9	aerofoto	677883.70	7183334.31	1.20	0.27
	vídeo	677882.50	7183334.58		
Media absoluta das discrepâncias				0.80	1.06

Quadro 7 - Diferenças entre as coordenadas planimétricas para canteiros

	Tipo	Este(m)	Norte(m)	DE(m)	DN(m)
Canteiros					
1	aerofoto	677700.08	7183228.14	0.66	0.64
	vídeo	677699.42	7183228.78		
2	aerofoto	677704.30	7183268.28	1.04	0.58
	vídeo	677705.34	7183268.86		
3	aerofoto	677824.58	7183349.43	0.71	0.94
	vídeo	677823.87	7183350.37		
4	aerofoto	677822.14	7183343.96	0.61	0.80
	vídeo	677821.53	7183344.76		
5	aerofoto	677809.68	7183483.93	0.60	1.20
	vídeo	677809.08	7183485.13		
6	aerofoto	677819.84	7183479.70	0.07	1.56
	vídeo	677819.77	7183481.26		
7	aerofoto	677806.44	7183247.00	0.92	0.33
	vídeo	677805.52	7183247.33		
8	aerofoto	677810.79	7183255.86	0.07	0.52
	vídeo	677810.72	7183256.38		
9	aerofoto	677839.07	7183318.01	1.72	0.28
	vídeo	677837.35	7183318.29		
10	aerofoto	677868.99	7183384.03	0.44	0.68
	vídeo	677868.55	7183384.71		
Media absoluta das discrepâncias				0.68	0.75

Quadro 8 - Diferenças entre as coordenadas planimétricas para postes e árvores

	Tipo	Este(m)	Norte(m)	DE(m)	DN(m)
Postes e árvores					
1	aerofoto	677696.58	7183229.67	0.69	1.29
	vídeo	677695.89	7183230.96		
2	aerofoto	677719.43	7183302.38	0.04	0.40
	vídeo	677719.47	7183301.98		
3	aerofoto	677813.58	7183334.35	1.99	1.20

	vídeo	677815.57	7183335.55		
4	aerofoto	677769.17	7183353.12	0.56	1.67
	vídeo	677768.61	7183354.79		
5	aerofoto	677806.58	7183468.18	1.00	1.17
	vídeo	677805.58	7183469.35		
6	aerofoto	677816.64	7183252.13	0.26	0.16
	vídeo	677816.9	7183251.97		
7	aerofoto	677888.65	7183277.72	0.72	1.51
	vídeo	677887.93	7183279.23		
8	aerofoto	677868.64	7183389.26	0.53	1.55
	vídeo	677868.11	7183390.81		
9	aerofoto	677855.48	7183373.57	0.77	0.97
	vídeo	677856.25	7183374.54		
Media absoluta das discrepâncias				0.72	1,10

Calculando-se uma média global, levando-se em conta todos os pontos dos quatro conjuntos de entidades monorestituídas tem-se um valor médio de 0,78 m e 1,09 para as discrepâncias planimétricas. O desvio padrão calculado foi de 0,43 m e 0,80 m respectivamente. Considerando os resultados apresentados nas tabelas 05 a 08 e os valores médios obtidos, pode concluir que são resultados satisfatórios, tendo em vista a baixa resolução existente na câmara de vídeo (720 x 480) “pixels”. Considerando a resolução do “pixel” o valor de 0,25 m no terreno, verifica-se que a precisão alcançada no processo encontra-se dentro de 4 vezes a dimensão do “pixel”. Sendo um procedimento de mapeamento de baixo custo, as precisões alcançadas na monorestituição das entidades planimétricas testadas, encontram-se dentro de valores tolerados. Considerando que um recobrimento aerofotogramétrico com câmara métrica na escala de 1/6000, onde é possível obter uma exatidão planimétrica média de aproximadamente 0,24 m. Considerando as diferenças médias entre os dois procedimentos de monorestituição, encontradas neste trabalho, valores de 1,0 m, pode concluir que a exatidão planimétrica esperada na monorestituição com as imagens provenientes com câmara de vídeo, aproxime-se a valor de 1,24 metros.

9. CONCLUSÕES

Verificou-se neste trabalho, a viabilidade técnica da monorestituição com imagens de vídeo, para diferentes aplicações na engenharia onde a exatidão da

informação espacial for suficiente os valores médios de exatidão obtidos neste trabalho.

Uma de suas maiores vantagens é o baixo custo dos equipamentos, pois são necessários somente um computador PC com boa capacidade de processamento e disponibilidade de memória para trabalhar com imagens digitais e um programa CAD e o sistema fotogramétrico Monorestituidor Digital. Outra vantagem é que não há a necessidade de se ter um operador treinado para visão estereoscópica, já que todos os procedimentos são monoscópicos.

Com as precisões obtidas, viabiliza-se a utilização desta técnica para muitas áreas da engenharia, ficando restrita para a obtenção de informações planimétricas onde a exatidão da representação é necessária.

A principal desvantagem está ligada com a baixa resolução existente nas câmaras de vídeo. Isto acarreta maior dificuldade no reconhecimento e restituição das entidades planimétricas, como também a necessidade de maior número de imagens para a realização de um projeto de mapeamento.

10. REFERÊNCIAS

MITISHITA, Edson A. **Monorestituição digital de aerofotos, associada com sistema de computação gráfica C.A.D., para fins de mapeamento na área florestal**. Curitiba, 1997. Tese (Doutoramento em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

MITISHITA, Edson A.; MACHADO, Álvaro, M. L. Sistema monorestituidor digital. **XIX Congresso Brasileiro De Cartografia, Recife: 1999**. Anais do Congresso, CD-Rom, Fotogrametria, Recife, 1999.

MITISHITA, Edson A.; SILVA, Vilmar F.; Sikorski, Jorge. Desenvolvimento de Técnicas de Mapeamento Fotogramétrico com Base em Imagens Digitais Tomadas com Câmara de Vídeo e Helicóptero. **Série em Ciências Geodésicas – 30 Anos de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas no Brasil**. V-1, p. 181-198, 2001^A.

MITISHITA, Edson A.; Andrade, José B.; SILVA, Vilmar F.; Sikorski, Jorge. Aerotriangulação Analítica Digital A Partir de Imagens Tomadas de Câmara de Vídeo e Helicóptero. **XX Congresso Brasileiro De Cartografia**. Anais do Congresso, CD-Rom, Fotogrametria, Porto Alegre, 2001^B.

OSTMAN, A. A Quality Control and Accuracy Estimation of Digital Elevation Models. **Papers on Digital Elevation, Image Correlation and Map Maintenance**.

Stockholm, Sweden, 1987. The Royal Institute of Technology - Department of Photogrammetry.

SURFER 7. Contouring And 3D Surface Mapping for Scientists and Engineers. **User's Guide**. Golden Software, Inc. 1999.

TREVIZAN, Sérgio J.; MITISHITA, EDSON A. Varredura Monoscópica Para a Geração de Modelo Digital de Terreno. **II Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas – 30 anos de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas no Brasil**. Anais do Colóquio, CD-Rom, Curitiba, 2001.

APLICAÇÃO DE INTERPRETADORES DIGITAIS A IMAGENS DA IRIS HUMANA

Prof. M.Sc. Paulo C. L. Krelling

Universidade Federal do Paraná
Setor de Ciências da Terra
Depto. de Geomática
pkell@ufpr.br

RESUMO

A multi-disciplinariedade é, sem dúvida alguma, a chave para a evolução mais rápida da ciência. O uso de elementos desenvolvidos especificamente para uma determinada atividade em outros campos da ciência pode gerar benefícios do ponto de vista da aceleração de procedimentos. Esta aceleração permite a popularização das práticas e, conseqüentemente, a aplicabilidade à população em geral. O uso de softwares utilizados em interpretação de imagens provenientes de sensores remotos à iridologia pode transformá-la em uma ferramenta poderosa na prevenção de doenças através de políticas de saúde pública.

Palavras-chave: Remote sensing; Iridology; E-cognition



ABSTRACT

Without doubts, multidisciplinary works are the key to the most quick science evolution. The use of specific techniques developed to solve specific problems in one knowledge area, when applied to another one, can accelerate the procedures currently used. When accelerated, most of the techniques can be applied to a great group of situations. This is what happen when applying remote sensing techniques to human iris images. The iridology technique of diagnosis becomes, so far, a useful toll to public health politics.

Keywords: Remote sensing; Iridology; E-cognition

1. INTRODUÇÃO

Neste trabalho procuramos mostrar os procedimentos adotados para a interpretação e localização de objetos-imagem existentes em fotos da Íris de olhos humanos. Utilizando-se de software empregado para interpretação de imagens de sensores remotos, procuramos diagnosticar a doença provável, do paciente sob observação, a partir de fotos da sua íris. A importância deste estudo advém da possibilidade de aplicação maciça da interpretação de tais imagens (devido ao seu pequeno tamanho), em curtíssimo espaço de tempo e para grande quantidade de pessoas. Desta maneira, pode-se efetuar diagnósticos em larga escala e em pequeno espaço de tempo das populações mais carentes e, conseqüentemente, desenvolver políticas preventivas de saúde em áreas menos favorecidas.

2. O QUE É IRIDOLOGIA: PRINCÍPIOS

Os olhos têm sido conhecidos como “as janelas da alma” e, no entanto, algumas pessoas desconhecem o quanto verdadeira é esta afirmação. A análise precisa da estrutura da Íris e sua pigmentação fornece informações, tanto sobre aspectos físicos quanto psicológicos do ser humano, que são difíceis de ser obtidas através de outros métodos. Estas informações são tão valiosas que a Iridologia tende a tornar-se uma ferramenta amplamente aplicada.

Existem diversos fatores que influenciam a saúde e a personalidade e, diversos deles, refletem-se na íris. A estrutura da Íris é tão particular que está sendo utilizada, inclusive, para identificação de segurança. Embora os olhos tenham sido centro de atenção ao longo de diversas civilizações, a Iridologia “moderna” teve seu início no fim dos anos 1800, quando o médico húngaro Ignatz von Peczely começou a observar os olhos e a sistematizar suas observações.

Segundo os princípios desta ciência, da mesma forma que existe a comunicação intercelular e neurológica entre os olhos e o cérebro também há a comunicação organismo-cérebro. Por se tratar de um sistema, a sub-atividade ou hiperatividade em órgãos e tecidos têm reflexos que são transmitidos para todos os componentes do sistema. A Íris, formada por fibras e canais, acaba por mostrar esta variação da frequência vibratória característica da porção afetada. Cada parte do organismo tem um local que lhe corresponde na íris.

Ao longo dos anos foram desenvolvidos mapas da íris (figura 1) que apresentam a localização de anomalias correspondentes à determinadas alterações. Existem diversos modelos de mapas, cada um refletindo o aprimoramento de outros anteriores, baseados em observações de pesquisadores.

Fig. 1: Mapa da íris de olhos humanos.

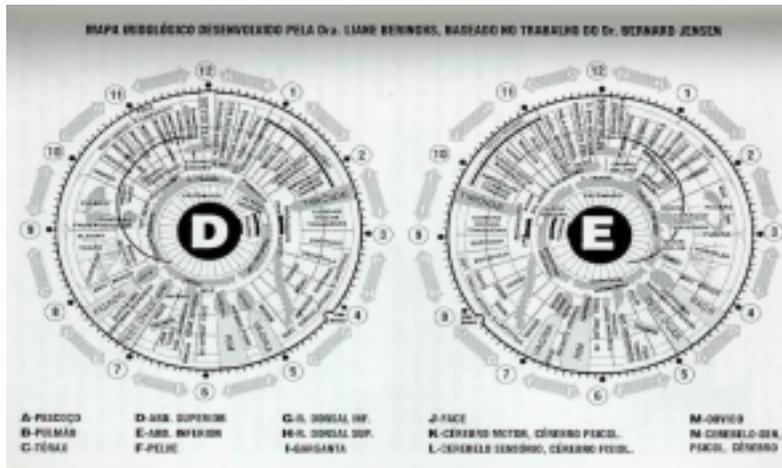


Fig.2-Anéis de stress

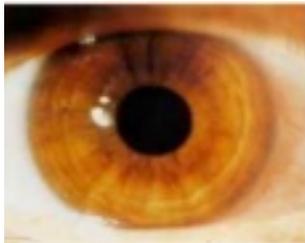


Fig. 3 – Anéis de gordura



Cada forma, padrão, cor ou fibra tem um significado importante para o iridologista experientado. Por exemplo, do ponto de vista de características físicas, uma pessoa com olhos castanhos escuros são predispostas a variações na composição sanguínea e, conseqüentemente, a desordens no âmbito do sangue. Alguns cientistas acreditam que isto se dá pela dificuldade de armazenamento e absorção de sais minerais. Parecem ter particularmente problemas com o metabolismo do cálcio. Estas tireóide, e risco crescente da doença de Parkinson e pessoas devem ter cuidado com o sistema circulatório (coração, sangue, veias), órgãos que produzem sangue (fígado, baço, medula), sistema digestivo e glândulas endócrinas. Com relação às colorações, o amarelo indica pobre funcionamento do fígado, o laranja indica dificuldades na metabolização de carboidratos e fraqueza do pâncreas. A presença de anéis também tem grande significado: os anéis de stress ou anéis de liberdade

Fig. 4. Íris diamante



(figura 2) –parecem-se com os anéis de crescimento De árvores - indicam tensão neuromuscular e stress, estas pessoas tendem a ser perfeccionistas e são muito ativas e independentes; anéis de gordura ou anéis de - anel denso branco que cobre parcial ou totalmente o limite externo da íris - mais encontrado em pessoas de mais idade indica comprometimentos das artérias, arteriosclerose e outros problemas de determinação (figura 3) do sistema cardiovascular, também indica desequilíbrio com o fígado, diabetes. Este anel está associado à determinação, rigidez, inflexibilidade (estas

pessoas são os chamados cabeças-duras). As íris com conformação de “diamante” (figura 4), por exemplo, refletem personalidade pensativa, analítica e intelectual e são conhecidas como tipos mentais. Absorvem informações visualmente e usam gestos firmes. São muito lentas para mudanças e sempre desejam mais informações. Temem a crítica, a intimidade e o desconhecido. Se estressados tendem a tornar-se esquecidos, ansiosos e emotivos.

Neste exemplo pode-se notar que não só as características físicas propriamente ditas podem ser avaliadas a partir da íris mas, também, elementos relacionados com a personalidade.

Evidentemente, ao contrário das expectativas, nem tudo pode ser avaliado exclusivamente através da análise da íris. A previsão dos níveis da pressão sanguínea, identificação de drogas e medicamentos ingeridos no passado, operações cirúrgicas sofridas, índices de ácido úrico no organismo, indicação de doenças pelo nome, presença de esclerose múltipla, etc. são alguns exemplos de impossibilidade ligadas à iridologia.

3. O QUE É SENSOREAMENTO REMOTO

É uma terminologia generalista que reflete a distância relativa do sensor ao elemento sob observação. No âmbito cartográfico, no entanto, convencionamos como sensoreamento remoto a operação de obtenção de informações da superfície e sub-superfície de um objeto a partir de sensores colocados a bordo de plataformas espaciais.

A obtenção de dados radiométricos em diversas bandas do espectro eletromagnético e sua conversão para formas mais acessíveis para interpretação é o principal uso do sensoreamento remoto. A superfície do planeta, por exemplo, é um dos objetos mais submetidos a esta técnica. A energia proveniente dos elementos sob estudo são captadas por sensores e convertidas em imagens capazes de ser percebidas pelos

sensores humanos. Este produto final, por uma questão de comodidade, normalmente adquire a forma de uma imagem.

Existem diversos sensores circulando o planeta a bordo de artefatos espaciais, cada um com características próprias, destinados a operações específicas e com qualidade de dados variável. Podem ser utilizados desde análises de marés aquáticas, áreas de recobrimento vegetal, mineração, etc....até espionagem.

4. COMO INTERPRETAMOS

Com uma área tão grande de observação e uma quantidade enorme de dados é razoável se pensar na automação do processo de interpretação de tais imagens.

Inicialmente este processo se resumia na separação, pixel a pixel, do conteúdo das imagens. Este procedimento promovia a segmentação da imagem em pequenas partes (denominados objetos imagem) cujas características radiométricas dos pixels componentes tinham determinadas semelhanças. Estas características de “igualdade” eram estabelecidas pelo observador. Numa segunda etapa atribuía-se a determinados objetos imagem um atributo (casa, rua, lago, solo, floresta, etc..) correspondente ao ambiente real onde o objeto se encontrava incluído. O interpretador então selecionava da imagem os objetos imagem semelhantes e dava a eles os mesmos atributos. Neste processo o elemento analisador limitava-se a comparar as características radiométricas dos dois conjuntos de pixels.

A nova geração de interpretador tem uma concepção diferente de processamento. A primeira etapa permanece a mesma. A imagem é segmentada pela comparação das características radiométricas de cada pixel mas já considera alguns elementos limitantes. São eles a forma e a dimensão dos elementos a serem encontrados na imagem. Esta segmentação já experimenta uma orientação adicional à simples reunião de pixels com características radiométricas semelhantes. Após esta etapa inicial, esta geração de interpretadores permite a adição de critérios que estão ligados às características intrínsecas dos objetos a serem pesquisados bem como características relativas entre diversos objetos. Uma característica intrínseca de uma casa, por exemplo, pode ser sua forma retangular e a relação largura/largura próxima da unidade. A característica intrínseca de uma estrada, embora “retangular”, é a pequena relação largura/comprimento. Como outra característica relacional podemos considerar o fato de que o centro do objeto imagem casa não deve coincidir com o eixo do objeto imagem estrada, caso contrário aquela estaria no meio desta. Desta forma o objeto encontrado no meio da estrada não será classificado como casa mas, talvez, como ponte, ou um veículo, embora tenha a mesma coloração de telhados.

A nova geração de interpretadores possui procedimentos para classificação semelhante à forma como trabalha o nosso cérebro, no processo de procura de algo em meio a um conjunto enorme de objetos. A seqüência de procedimentos para a interpretação pode ser armazenada de maneira que, quando dispusermos de outra

foto, ela poderá ser aplicada automaticamente e, então, a interpretação será automática.

Outro fator interessante neste tipo de software é a possibilidade de obtermos as características intrínsecas dos objetos-imagem decorrentes da segmentação inicial. Podemos, entre outras, conhecer a área, a orientação do eixo principal, a posição, sua intensidade radiométrica, a relação contorno/área, densidade de agrupamento dos pixels, etc. Estas características podem ser reunidas em um arquivo e este, por sua vez, exportado na forma de arquivo texto.

5. CONEXÃO IRIDOLOGIA E SENSOREAMENTO REMOTO

Tendo observado as características dos novos softwares para interpretação automática de imagens e as necessidades inerentes à iridologia, percebemos que podemos aplicar os produtos destinados ao sensoriamento remoto às fotos de íris. Com a possibilidade de obtenção da localização dos objetos imagem através das coordenadas do seu centro (no caso da cartografia se a imagem for geo-referenciada os objetos terão coordenadas geo-referenciadas) podemos avaliar qual a sua posição no mapa da íris. Desta forma o diagnóstico das anomalias físicas do cliente pode ser “automaticamente” efetuado, bastando efetuar uma correlação entre a posição do objeto imagem e a anomalia do mapa da íris.

Uma foto da Íris tem, aproximadamente, 100x100 pixels. Em termos de processamento de imagens este não necessita mais que 20 segundos, o que acena como um modelo adequado para o processamento de grande quantidade de clientes.

6. O QUE PROCURAMOS

Fig. 5 – Manchas psóricas



Como salientamos anteriormente a íris contém um número elevado de informações. Os anéis, a distribuição, localização e a coloração das manchas, a cor predominante da íris, o seu relevo, etc., são elementos que refletem as características físicas e de personalidade do indivíduo. Nesta fase estamos nos concentrando exclusivamente na identificação e localização das manchas psóricas, de maneira a obter sua posição correspondente no mapa da íris.

7. PROCEDIMENTOS ADOTADOS

7.1 REFERENCIAMENTO

Para o desenvolvimento deste trabalho utilizamos inicialmente uma versão Demo do software eCognition, desenvolvido pela Definiens Imaging GmbH. Numa segunda etapa a versão completa adquirida pela Universidade Federal do Paraná foi empregada. Este software é capaz de efetuar a classificação de uma imagem orientando-se pelos objetos-imagem que a compõem, levando em consideração suas características intrínsecas e relativas. As imagens utilizadas para a experimentação inicial foram encontradas em diversos sites da Internet. Como se trata de um ensaio para verificar a adequação do software às necessidades, utilizamos imagens de baixa resolução, no formato jpg, obtidas a partir de radiação do espectro visível, RGB. O tamanho das imagens situa-se em torno de 100 x 100 pixels. Todas as elas foram ampliadas ou reduzidas de maneira a terem um mesmo diâmetro para a íris.

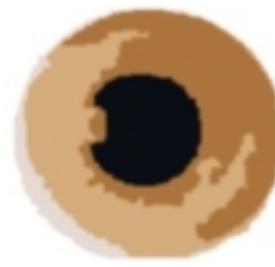
O mapa da íris foi reconstruído em escala compatível com as dimensões das íris observadas. Desta maneira a posição das manchas observadas na íris recairiam nos locais correspondentes dos mapas. Trata-se de um referenciamento da imagem.

7.2 Processamento da imagem

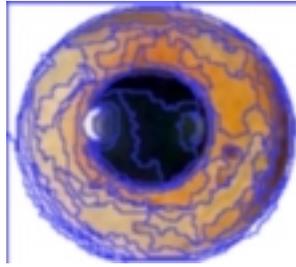
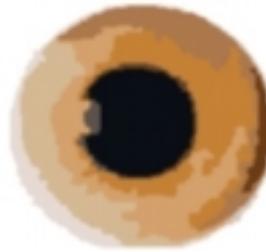
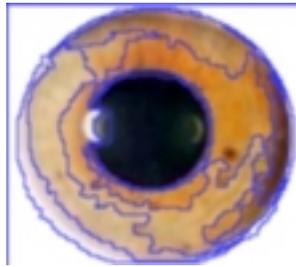
Efetuamos diversas segmentações com multi-resolução partindo de fatores de escala de 10 a 100 (com intervalo de 10 pixels), 120 a 200 (intervalos de 20 pixels), 200 a 400 (intervalos de 50 pixels). Adotamos em todas elas o critério “cor” com 0,8 e o critério “forma” 0,2. Inicialmente não foi aplicado nenhum critério de classificação.



A seguir apresentamos oito figuras. As dispostas à esquerda da página são as imagens contendo apenas os limites obtidos a partir da segmentação e as da direita são uma representação da segmentação das classes. De cima para baixo temos as segmentações com fatores de escala variando na seguinte ordem: 250, 200, 140, 20 pixels. A segmentação com parâmetro de escala igual a 250 pixels já se mostrou suficiente para evidenciar a área de influência que experimenta a íris. É



uma visão grosseira que dá a amplitude da agressão em relação ao estado que seria o “perfeito”. No exemplo estudado estas grandes marcas situam-se próximas à borda interna da íris em todo o contorno e avoluma-se atingindo a borda externa na posição entre 13 horas e 15h (considerando a orientação do mostrador do relógio).



À medida que o parâmetro de escala diminui a subdivisão aumenta e novos detalhes vão se tornando mais evidentes. Com fator de escala 200 percebe-se um “anel de gordura” situado na parte inferior esquerda e esquerda (6-11 horas). Com fator de

escala 140 aparecem anéis escuros, borda externa entre 2-5 e 11-2 horas. Alguns objetos imagem, a despeito da variação do parâmetro de escala, permanecem com tamanho praticamente constante. Isto demonstrou serem correspondentes a marcas bem definidas na íris.

Com parâmetro de escala 20 percebemos a segmentação das manchas nas posições 3, 6, 7 e 8 horas, o que assegura tratarem-se de manchas pontuais, de pequena dimensão. Aplicando como característica relativa para classificação a diferença de cor e/ou intensidade com os objetos vizinhos, por exemplo, podemos identificar o objeto imagem como uma “mancha”.

A possibilidade de exportação dos objetos-imagem obtidos da segmentação, acompanhados de suas características e atributos provenientes da classificação, permite que tragam consigo as coordenadas dos seus centros geométricos, área de abrangência, cores predominantes, etc.. Como a imagem original foi ampliada ou reduzida para um tamanho específico, correspondente ao mapa da íris, as coordenadas obtidas dos objetos-imagem podem ser associadas à posição que ocupam no mapa (corresponde ao “registro” da imagem como se faz na cartografia). Sabendo-se a localização da anomalia no mapa da íris podemos obter a causa provável que está ligada à anomalia física que o indivíduo experimenta por simples associação.

8. CONCLUSÕES

Esta geração de analisadores orientados por objetos imagem mostra-se adequada à aplicação com o objetivo pretendido. A determinação dos relacionamentos entre objetos é fundamental para a interpretação do objeto imagem estudado.

Algumas dificuldades existem no que se refere à interpretação dos anéis concêntricos pois, embora possamos imaginar que sejam anéis, a relação largura/comprimento do objeto imagem não assegura a forma curva.

Olhos com cores escuras (castanho, castanho escuro, etc.) apresentam maiores dificuldades para a percepção, mesmo a olho nu, de anomalias. No processo de classificação será necessária a adoção de falsa cor para salientar as diferenças e facilitar a sua visualização.

O gradiente de cores (elemento importante para avaliação do paciente) em áreas não fica representado corretamente uma vez que o software homogeneiza todas as cores dentro de um mesmo objeto.

A segmentação com multi-resolução facilita a visualização, para o iridologista, da área abrangida por anomalias pouco perceptíveis na observação a olho nu. Segmentações com fatores de escala pequenos permitem a visualização bem definida da posição da anomalia, evitando dúvidas de sua posição quando situadas nos limites das áreas contíguas correspondentes a órgãos diferentes.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Manual do Software eCognition, Definiens Imaging GmbH.

Simon A. and others., An Evaluation of Iridology. JAMA 242:1385-1387, 1979.

Cockburn DM., A Study of the Validity of Íris Diagnosis. Australian Journal of Optometry. 64:154-157, 1981.

Tierra M. A., Comparative Evaluation of Diagnostic Systems used in herbal medicine. Accessed Dec 23, 1998.

Mather JD., Confessions of a former iridologist. Accessed May 31, 2000.

UTILIZAÇÃO DE IMAGENS IKONOS PARA ESTIMATIVA DE PROFUNDIDADES

Andrea Tedesco¹
Jorge A. S. Centeno²

Universidade Federal do Paraná – tedescodeda@pop.com.br

Universidade Federal do Paraná – centeno@cce.ufpr.br

RESUMO

As imagens de satélite vêm sendo amplamente utilizadas para as mais diversas finalidades. São empregadas, por exemplo, em estudos geológicos, na cartografia, no planejamento e desenvolvimento urbanístico, nas definições de projetos de engenharia, na agricultura e em hidrologia. Quanto às aplicações em hidrologia, pode-se citar o uso das imagens para mapeamento e delineamento de corpos d'água, verificação e controle da qualidade física da água, avaliação da quantidade de sedimentos em suspensão e verificação de turbidez. Além disso, estudos foram realizados com imagens Landsat TM, em 1992, e SPOT, em 2000, com o intuito de extrair profundidades a partir das mesmas, com base nos valores de reflectância. Para países como o Brasil, com extenso litoral e grande quantidade de rios navegáveis, que utilizam estes tanto para o transporte de pessoas e cargas quanto para o lazer e turismo, cartas de navegação confiáveis e constantemente atualizadas são requeridas. No entanto os sistemas hídricos são muito dinâmicos, sofrendo processos de erosão e deposição que provocam variações no relevo submarino, tornando as cartas náuticas desatualizadas rapidamente. Além disso, um levantamento hidrográfico demanda custos e tempo de execução elevados. Este trabalho visa a propor um método alternativo para estimativa de profundidades e, conseqüentemente, para atualização e complementação de mapas batimétricos, através da integração de imagens IKONOS e dados batimétricos. Experimentos foram realizados no canal localizado entre as ilhas Sepultura e do Capinzal, na Baía de Guaratuba, no litoral paranaense. Apresenta-se a metodologia utilizada e os resultados dela decorrentes.

Palavras-chave: IKONOS; Batimetria; Cartas Náuticas.

ABSTRACT

The satellite images have been used with many purposes, for example in geological studies, cartography, urban planning and development, engineering projects definitions, agriculture and hydrology. In hydrology, satellite images can be used in body water mapping and delineation, water physical quality verification and control, suspended sediment quantity evaluation and turbidity verification. Besides, investigations were performed with Landsat TM images in 1992 and with SPOT images in 2000 to extract depths from images based on reflectance values. For countries like Brazil that has an extensive coast and a lot of navigable rivers, which are used to transport cargo and people, for business, leisure and tourism, reliable and updated nautical charts are required. However, the aquatic systems are very dynamic, suffering erosion and deposition processes that cause variations on submarine relief, turning nautical charts quickly out of date. Besides, a hydrographic survey is expensive and delayed. This essay proposes an alternative method to estimate sub aquatic depths and consequently complementation and updating nautical charts, through IKONOS image and bathymetric data integration. Experiments were performed in the stream located between Sepultura and Capinzal islands, Guaratuba Bay, Paraná coast. It will be presented the methodology and the results of this essay.

Keywords: IKONOS; Bathymetry; Nautical Charts.

1. INTRODUÇÃO

Países como o Brasil, com extenso litoral e grande quantidade de rios navegáveis, utilizam estes tanto para o transporte de pessoas e cargas quanto para o lazer e turismo. Por esta razão, cartas de navegação confiáveis e constantemente atualizadas são requeridas. No entanto, devido à grande dinâmica dos sistemas hídricos, as cartas náuticas tornam-se desatualizadas rapidamente pois, processos de erosão e deposição provocam variações no relevo submarino e na localização da linha de costa. Além disso, devido às dificuldades de realização de levantamentos em áreas de baixa profundidade ou de fundo que apresente perigos à navegação, existem áreas não cartografadas nas cartas náuticas. Percebe-se, ainda, uma grande generalização das profundidades nas mesmas. No Brasil, o órgão responsável pela realização dos levantamentos hidrográficos e pela produção e atualização das cartas náuticas é a Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN) da Marinha do Brasil.

No intuito de se preencherem estas lacunas existentes nos levantamentos hidrográficos, ou a inexistência dos mesmos, propôs-se um método alternativo para

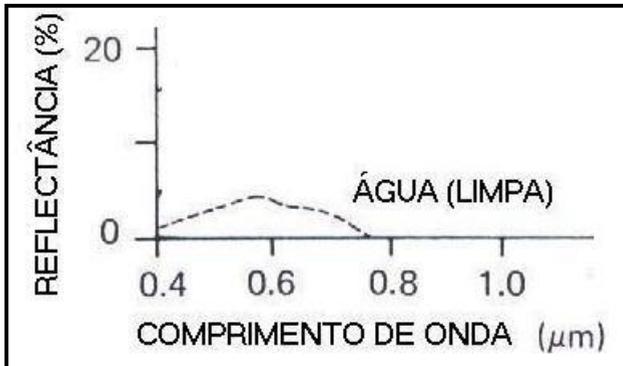
estimativa de profundidades e, conseqüentemente, para atualização e complementação de mapas batimétricos. O método consiste na integração de dados batimétricos com dados espectrais provenientes de imagens obtidas pelo sensor a bordo do satélite IKONOS II. Avaliando-se o comportamento dos dados (valores digitais e profundidades), encontrou-se um modelo matemático de correlação entre estes. Os dados batimétricos foram obtidos através de levantamento batimétrico realizado com auxílio de ecobatímetro de feixe único. Utilizando-se o modelo de correlação, foram determinados parâmetros de correlação entre os níveis digitais e as profundidades, para alguns pontos de apoio, e avaliou-se a precisão alcançada com o método.

Para o desenvolvimento deste estudo, experimentos foram realizados para uma área-teste, a qual abrange o canal localizado entre as ilhas do Capinzal e Sepultura, na Baía de Guaratuba, no litoral paranaense.

2. COMPORTAMENTO ESPECTRAL DA ÁGUA

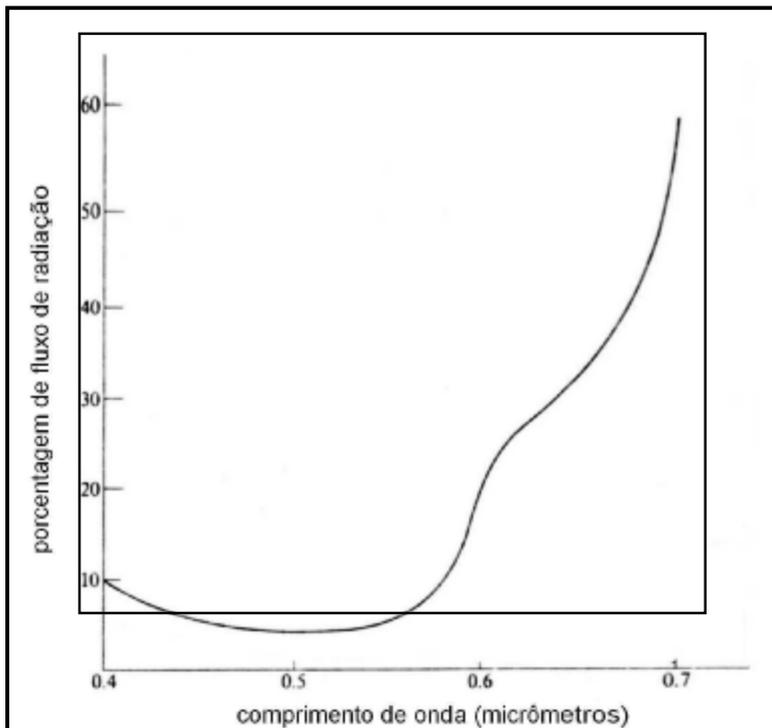
Da radiação que atinge a superfície da água, parte penetra e parte é refletida, voltando para a atmosfera. A quantidade de radiação refletida depende das condições da superfície da água (plana ou ondulada) e principalmente do ângulo de incidência da radiação sobre esta. Ao penetrar na coluna d'água, a radiação é submetida a profundas alterações, tanto na sua intensidade quanto na sua composição espectral. A primeira alteração sofrida é a mudança de direção devido à refração provocada pela redução da velocidade ao penetrar no meio líquido. Em seguida, parte da radiação é absorvida e transformada em outras formas de energia, por exemplo, química pela fotossíntese e calorífica pelo aquecimento da água. Outra parte da radiação sofre dispersão devido ao choque com partículas suspensas ou dissolvidas na água. Assim, a absorção e a dispersão são os dois principais fatores responsáveis pela atenuação da radiação com a profundidade nos ecossistemas aquáticos (DEBERDT, 2002). Entre as propriedades espectrais da água, pode-se citar a absortância, a transmitância, a reflectância e a emissividade. A figura 01 ilustra a curva típica de reflectância da água. Analisando-se a mesma, percebe-se que a água apresenta resposta espectral na faixa visível do espectro eletromagnético, sendo praticamente nula na faixa do infravermelho, isto porque a absortância é máxima nesta região do espectro, conforme pode verificar-se na figura 02. A figura 03 ilustra a curva de transmitância para quatro diferentes tipos de água, ara uma camada de 10m de profundidade. Observando-se esta curva, percebe-se que a água pura transmite muita radiação incidente nos comprimentos de onda inferiores a $0,6\mu\text{m}$. A transmitância diminui com o aumento da turbidez da água, enquanto que o comprimento de onda de máxima transmitância aumenta. A melhor região para as medidas espectrais da água é em torno de $0,48\mu\text{m}$, onde a transmitância é máxima (SWAIN & DAVIS, 1978, p.255).

FIGURA 01 - CURVA TÍPICA DE REFLECTÂNCIA ESPECTRAL DA ÁGUA



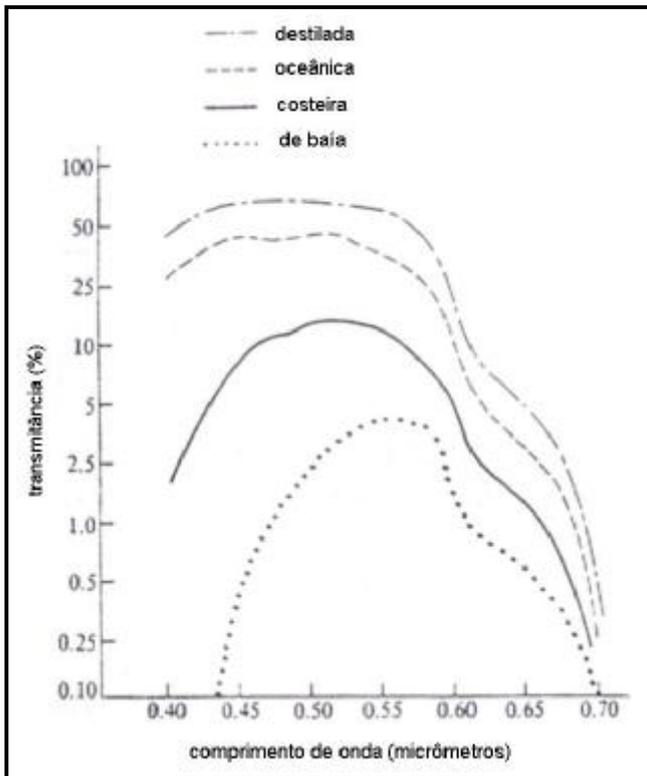
FONTE: ADAPTADO DE LILLESAND E KIEFER (1987, p.18)

FIGURA 02 - CURVA DE ABSORTÂNCIA DA ÁGUA



FONTE: ADAPTADO DE SWAIN & DAVIS (1978, p.255)

FIGURA 03 - CURVA DE TRANSMITÂNCIA DA ÁGUA



FONTE: ADAPTADO DE SWAIN & DAVIS (1978, p.256)

Na região visível do espectro as interações da energia são bastante complexas e dependem de uma série de fatores como a reflexão especular, materiais suspensos na água, fundo do corpo d'água e variáveis climatológicas. Características da água como profundidade, quantidade de materiais em suspensão (clorofila, argilas e nutrientes) e rugosidade da superfície, podem alterar o comportamento espectral da água (CHUVIECO, 1990, p.68).

3. OBTENÇÃO DE PROFUNDIDADES ATRAVÉS DE VALORES DE REFLECTÂNCIA

Em 1970, Polcyn *et al* desenvolveram um modelo para estimativa de profundidades de corpos d'água através de técnicas de sensoriamento remoto, baseados no modelo simples de reflectância da água. No entanto, este modelo

despreza os efeitos devidos à dispersão e à reflexão interna na superfície da água. De acordo com o modelo simples de reflectância da água, a radiância em uma dada banda de comprimento de onda (i) pode ser escrita como (POLCYN *et al*, 1970):

$$L_i = L_{si} + k_i r_{Bi} \exp(-K_i f z) \quad (01)$$

Onde:

- L_i = radiância na banda i ;
- L_{si} = radiância observada sobre água profunda (devida à reflexão externa da superfície da água e dispersão na atmosfera);
- k_i = constante que inclui irradiância solar, transmitância da atmosfera e da superfície de água, e redução da radiância devido à refração da superfície de água;
- r_{Bi} = reflectância do fundo;
- K_i = coeficiente de atenuação efetivo da água;
- f = fator geométrico para cálculo do comprimento do caminho através da água;
- z = profundidade da água.

O algoritmo desenvolvido por Polcyn *et al* assume que se pode encontrar um par de bandas para as quais a razão entre as reflectâncias do fundo é a mesma para todos os tipos de fundo numa certa cena. Considerando-se fundos do tipo A e B, tem-se:

$$\frac{r_{A1}}{r_{A2}} = \frac{r_{B1}}{r_{B2}} = R_b \quad (02)$$

Onde r_{A1} é a reflectância para o tipo de fundo A na banda 1, e assim sucessivamente. A profundidade pode então ser calculada através da equação:

$$z = \frac{1}{(K_1 - K_2) * f} \left[\ln \left(\frac{k_1}{k_2} \right) - \ln \left(\frac{R}{R_b} \right) \right] \quad (03)$$

Onde R é a razão entre os sinais refletidos do fundo nas duas bandas:

$$R = \frac{(L_1 - L_{S1})}{(L_2 - L_{S2})} \quad (04)$$

Se a relação expressa na equação 02 for verdadeira, a profundidade calculada por este método não é afetada pelas mudanças na composição do fundo presentes na cena. Está também livre das mudanças na qualidade da água se a diferença entre os coeficientes de atenuação ($K_1 - K_2$) resultar constante. Porém, é difícil encontrar um par de bandas que satisfaça a esta condição e à equação 2.

Em 1978, Lyzenga melhorou o modelo de Polcyn, adicionando os efeitos de dispersão e reflexão interna. Obtém-se a profundidade invertendo-se a equação 1. A profundidade pode ser obtida utilizando-se regressão linear. Ele testou ambos os

métodos chegando aos resultados expostos na tabela 01 (LYZENGA, 1978):

$$Z = a_{0i} + a_{1i} X_i \quad (05)$$

Sendo:

i = banda

$X_i = \ln(L_i - L_{si})$;

$a_{0i} = (1/k_i f) \ln(k_i r_{Bi})$; e

$a_{1i} = -1/K_i f$

TABELA 01 - ERROS NAS PROFUNDIDADES ESTIMADAS ATRAVÉS DOS MÉTODOS DE POLCYN E LYZENGA

Profundidade (m)	Erro método Polcyn (m)	Erro método Lyzenga (m)
1	0,7	0,3
2	1,10	0,5
3	2,0	0,7
4	3,0	0,8
5	4,5	0,9
6	6,7	1,0

PEREDES e SPERO (1983) adaptaram o modelo mostrado na equação 5 para um caso de várias bandas (n), resultando em:

$$z = a_0 + a_1 X_1 + a_2 X_2 + \dots + a_n X_n \quad (06)$$

ABDULLAH, MATJAFRI e DIN (2000) realizaram estudos de atualização de mapas batimétricos através de imagens de sensoriamento remoto, para o Estreito de Penang na Malásia. A partir de dados obtidos em levantamento batimétrico utilizando ecobatímetro, e imagens dos sensores Landsat TM e SPOT de 1997, produziram mapas batimétricos com base no algoritmo derivado do exposto na eq. 06, para o caso de três bandas (eq. 07).

$$z = a_0 + a_1 X_1 + a_2 X_2 + a_3 X_3 + a_4 X_1 X_2 + a_5 X_1 X_3 + a_6 X_2 X_3 + a_7 X_1 X_2 X_3 \quad (07)$$

Utilizando os dados batimétricos e os dados de reflectância obtidos das imagens, eles encontraram os melhores coeficientes para o algoritmo estudado. Alguns dados foram utilizados para calibração do modelo de regressão e outros para verificação. Os mapas batimétricos obtidos apresentaram-se bastante similares entre si e em comparação ao obtido com os dados do levantamento batimétrico. O principal erro detectado originou-se do efeito da turbidez da água. A tabela 2 apresenta um resumo dos resultados obtidos.

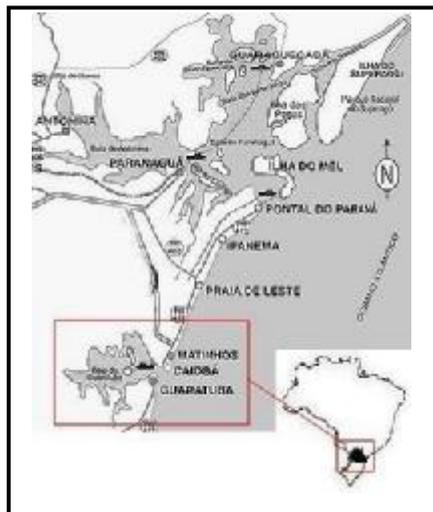
TABELA 02 - ERROS OBTIDOS PARA O MODELO DE REGRESSÃO

	Calibração		Validação	
	SPOT	LANDSAT	SPOT	LANDSAT
Erro Médio Quadrático (m)	4,7	4,6	6,5	5,12

4. ÁREA DE ESTUDO

Para a realização deste estudo selecionou-se uma área-teste no litoral paranaense (fig. 04), a qual abrange o canal de fundo arenoso localizado entre as ilhas Sepultura e do Capinzal, na baía de Guaratuba. A área de estudo está compreendida entre as latitudes 25°51'05" S e 25°51'50" S e entre as longitudes 48°36'10" W e 48°34'50" W. Escolheu-se esta área de estudo após análise da imagem IKONOS e da carta náutica da região. Na carta náutica percebe-se uma grande generalização das profundidades e, analisando-se a variação dos níveis digitais da imagem, pôde-se perceber uma grande variação dos mesmos, o que implica numa variação de profundidades, já que existe uma correlação entre a resposta espectral obtida pelo sensor e a profundidade da coluna d'água.

FIGURA 04 - LOCALIZAÇÃO DA BAÍA DE GUARATUBA NO LITORAL PARANAENSE



5. MATERIAIS

Os equipamentos utilizados na elaboração deste trabalho foram:

- 2 receptores GPS de dupla frequência, 12 canais, Ashtech ZXII;

- sistema de comunicação (par de rádios Pacific Crest, potências de 35W e 2W, e antenas);
- uma régua graduada com comprimento total de 5m para leituras de maré;
- um ecobatímetro de feixe único modelo SDH-13A da Odom Hydrographic Systems, Inc. com módulo Digitrace e um transdutor;
- um teodolito eletrônico T100 da Leica;
- imagem IKONOS, resultado da fusão da banda pancromática com resolução espacial de 1m com as bandas multiespectrais com resolução espacial de 4m, composição colorida R=infrared, G=red e B=green, resolução espacial de 1m, 11 Bits, nível de processamento *Standard Geometrically Corrected*, adquirida pelo sensor em 16/09/2001, ângulo de elevação solar=53,322° ;
- Software para planejamento, execução e processamento dos dados do levantamento hidrográfico (HYPACK);
- Software para processamento dos dados GPS (PRISM);
- Software para processamento de imagens de satélite (ENVI - *Environment for Visualizing Images*), e
- Software para geração do Modelo Digital do Terreno a partir dos dados batimétricos (SURFER).

6. METODOLOGIA E RESULTADOS

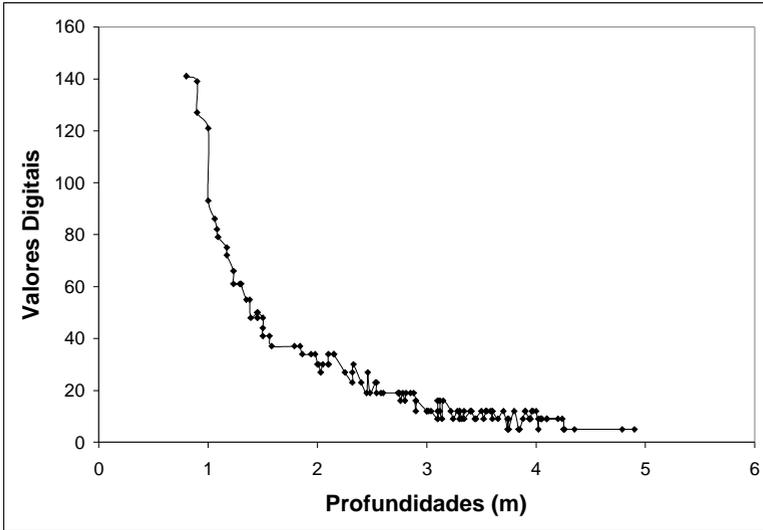
A elaboração do estudo englobou as seguintes etapas:

1. Escolha da área de estudo;
2. Planejamento e execução dos levantamentos de campo:
 - Escolha e implantação de uma estação de referência;
 - Seleção e determinação das coordenadas precisas de pontos de apoio terrestres para georreferenciamento da imagem;
 - Cálculo da escala do levantamento batimétrico, densidade e espaçamento entre as linhas de sondagem e execução do levantamento batimétrico, e
 - Implantação de uma régua maregráfica para determinação das variações da maré ao longo do levantamento batimétrico.
3. Processamento dos dados oriundos dos levantamentos de campo;
4. Determinação do modelo matemático a ser utilizado;
5. Processamento da imagem de satélite, e
6. Análise dos resultados obtidos.

O método proposto neste estudo, para fins de estimativa de profundidades através de imagens de satélite de alta resolução, consiste na determinação de parâmetros de correlação entre profundidades e valores de níveis digitais. A partir de alguns dados de profundidade obtidos em levantamento batimétrico, dispensando

um levantamento completo em campo, diminuindo custos e tempo de execução, foram determinadas profundidades de alguns pontos, ao longo de linhas de sondagem, que foram relacionados com seus pixels homólogos na imagem georreferenciada. Os dados foram então plotados para uma análise do comportamento dos mesmos (profundidades versus níveis digitais), conforme ilustrado na figura 05. Percebe-se o comportamento exponencial dos dados.

FIGURA 05 - COMPORTAMENTO DOS DADOS ESPECTRAIS EM RELAÇÃO À VARIAÇÃO DE PROFUNDIDADE



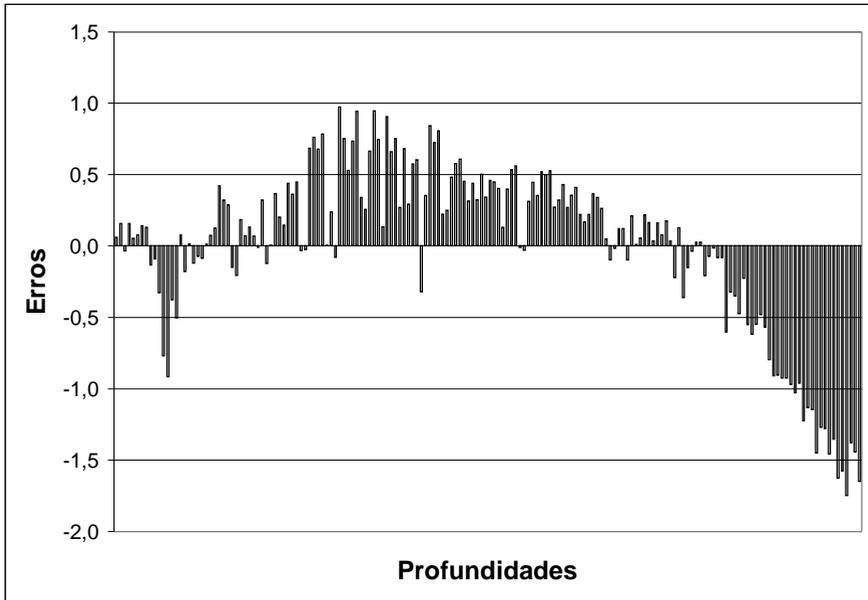
A partir desta análise e, com base nos modelos investigados por outros pesquisadores anteriormente, chegou-se a um modelo para correlação dos dados. Linearizando-se a relação entre os dados, pode-se obter profundidades (Z) a partir dos valores digitais da imagem (NC). A equação de correlação resultante é dada por:

$$Z = a_1 * \ln NC + b_1 \quad (08)$$

Os parâmetros a_1 e b_1 que correlacionam os dados são os coeficientes da reta obtida plotando-se profundidades versus o logaritmo neperiano dos níveis de cinza (a_1 = inclinação da reta, b_1 = intercepção da reta no eixo y).

Utilizando-se todos os dados, percebeu-se que o modelo apresenta maior confusão nas profundidades estimadas acima de 3,50m, isto porque a partir desta profundidade os valores digitais tornam-se muito parecidos, pois a resposta obtida pelo sensor não é distinta devido à absorção da radiação pela água (fig. 06).

FIGURA 06 - ERROS OBTIDOS COM O MODELO DE REGRESSÃO PARA TODOS OS DADOS



Os dados foram então divididos em faixas de profundidades e foram então calculados os parâmetros de regressão. Utilizando-se estes parâmetros foram estimadas as profundidades e comparadas com as profundidades obtidas em campo. Calcularam-se então as diferenças entre as profundidades estimadas e verdadeiras (erros absolutos) para avaliação da precisão do método. A tabela 03 apresenta as faixas de profundidade verificadas, a média dos erros absolutos obtidos bem como seus desvios padrões e o máximo erro verificado em cada faixa.

TABELA 03 - ERROS OBTIDOS

EXTREMOS (m)	MÉDIA ERROS ABS (m)	DESVIO PADRÃO (m)	ERRO MÁX (m)
0,3 - 1,00	0,23071836	0,26162638	-0,44308
0,3 - 1,53	0,15171851	0,194322541	-0,45985
0,3 - 2,03	0,15098107	0,191844773	-0,4714
0,3 - 2,51	0,18303241	0,225122401	-0,58213
0,3 - 3,01	0,21157054	0,270625265	-0,71629
0,3 - 3,48	0,25901799	0,334607099	-0,89465
0,3 - 4,00	0,32433741	0,436039969	-1,38142
0,3 - 4,50	0,43575496	0,589504461	-1,74593
0,3 - 4,97	0,5241625	0,696818045	-2,16666

0,6 - 1,00	0,10236278	0,125578582	0,229894
0,6 - 1,53	0,08179185	0,111190784	-0,27819
0,6 - 2,03	0,11427353	0,142944077	-0,34563
0,6 - 2,51	0,17258229	0,212748334	-0,52131
0,6 - 3,01	0,21225044	0,272365834	-0,71742
0,6 - 3,48	0,26399077	0,341000816	-0,89891
0,6 - 4,00	0,33421921	0,445938673	-1,3829
0,6 - 4,50	0,45157149	0,603000017	-1,7447
0,6 - 4,97	0,54441037	0,712398533	-2,16642

0,8 - 1,00	0,01511667	0,019121478	-0,02461
0,8 - 1,53	0,06963887	0,094446396	-0,27336
0,8 - 2,03	0,10654695	0,136209008	-0,33671
0,8 - 2,51	0,16779589	0,208127211	-0,57045
0,8 - 3,01	0,20602879	0,26409369	-0,71241
0,8 - 3,48	0,26001844	0,333152242	-0,88295
0,8 - 4,00	0,33278024	0,441752299	-1,37329
0,8 - 4,50	0,45516988	0,603623265	-1,74959
0,8 - 4,97	0,54996951	0,715399498	-2,16507

7. CONCLUSÕES

Observando-se os resultados obtidos, através da tabela 03, percebe-se que o método mostrou-se eficiente, permitindo estimativas de profundidades até em torno de 5m, com erros inferiores a 1,00m. De acordo com as normas da Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN), o método poderia ser utilizado como auxílio na confecção de cartas inclusive de Ordem 1, que são as que exigem maior rigor de precisão. O método torna-se viável pois reduz a quantidade de dados a serem levantados em campo, diminuindo tempo de execução e custos. Para áreas de baixa profundidade, onde não é possível a realização de levantamento com embarcações, pode-se então utilizar este método para estimativa das profundidades, auxiliando na confecção, edição ou atualização de cartas náuticas.

8. REFERÊNCIAS

ABDULAH, K., MATJAFRI, M. Z., DIN, Z. B. **Contribution form remote sensing in updating bathymetric chart.** Disponível em <<http://www.gisdevelopment.net/aars/acrs/2000/ps3/ps311pf.htm>> Acesso em: 15 mar. 2002.

BIERWIRTH, P. N., LEE, T. e BURNE, R. V. **Shallow water mapping via the separation of depth and substrate components from multiespectral data: an example from useless inlet, Shark Bay, WA.** Apresentado em First Thematic Conference on Remote Sensing for Marine and Coastal Environments, New Orleans, Louisiana. Junho, 1992. Disponível em <www.agarss.com.au/Papers/ShallowH2O/ShallowH2O.htm> Acesso em: 25 mar. 2002.

BRASIL. Portaria n. 53 / MB, de 1º de março de 2002. Aprova as "Instruções para Controle dos Levantamentos Hidrográficos pela Marinha do Brasil". Disponível em <<http://www.dhn.mar.mil.br/chm/Levantamento/>> Acesso em: 16 set. 2002.

CHUVIECO, E. **Fundamentos de Teledetección Espacial.** Ediciones Rialp, S.A. Madrid, 1990.

DEBERDT. A. J. **Qualidade da Água.** Disponível em <<http://educar.sc.usp.br/biologia/prociencias/qagua.htm>> Acesso em: 13 mai. 2002.

DHN. **Baía de Guaratuba.** Rio de Janeiro, 1996. 1 carta náutica: color.; 60 x 40cm. Escala 1:25.000.

DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO. Disponível em: <<http://www.dhn.mar.mil.br>> Acesso em: 10 mar. 2002.

FELIX, L. A. **Algumas considerações sobre levantamento hidrográfico em grande escala**. Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 1996.

IKONOS. Curitiba: EngeSat Imagens de Satélite, 2001. Imagem de satélite. Composição colorida R=red, G= green e B= infravermelho próximo.

LILLESAND, T. M., KIEFER, R.W. **Remote Sensing and Image Interpretation**. Editora John Wiley & Sons, Inc. 3ª edição. New York, 1994.

LYZENGA, D. R. **Passive remote sensing techniques for mapping water depth and bottom features**. Applied Optics, vol. 17 nº 3, p.379-383. Fevereiro, 1978.

PEREDES, J. M., SPERO, R. R. **Water depth mapping from passive remote sensing under a generalized ratio assumption**. Applied Optics, vol. 22, p.1134-1135. Abril, 1983.

POLCYN, F. C.; BROWN, W. L.; SATTINGER, I. J. **The Measurement of Water Depth by Remote Sensing Techniques**. Report 8973-26-F, Willow Run Laboratories, The University of Michigan, Ann Arbor, 1970.

SWAIN, P. H.; DAVIS, S. M. **Remote Sensing**. The Quantitative Approach. Editora McGraw-Hill Book Company. United States of America, 1978.

10. AGRADECIMENTOS

A realização deste estudo contou com o apoio financeiro da CAPES e do curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas da Universidade Federal do Paraná. Agradeço ainda a todos que colaboraram, direta ou indiretamente, na realização deste trabalho.

O EFEITO DA COMPRESSÃO DE IMAGENS NOS PROCESSOS AUTOMÁTICOS DE EXTRAÇÃO DE INFORMAÇÕES

Jorge Antonio Silva Centeno¹
Alvaro Muriel Machado²
Patricia de Castro Pedro³

- 1 Departamento de Geomática UFPR – centeno @geoc.ufpr.br
- 2 Pós Graduação em Ciências Geodésicas UFPR – alvaroml @geoc.ufpr.br
- 3 Pós Graduação em Ciências Geodésicas UFPR – patricia @pop.com.br

RESUMO

No presente artigo são apresentados os resultados de um estudo que aborda o efeito da compressão de imagens na busca de pontos homólogos ou padrões em imagens digitais por correlação estatística. Para isto, uma fotografia vertical de uma parede com alvos pré-sinalizados para a calibração de câmaras, localizada no centro politécnico da UFPR, foi submetida ao processo de compressão, usando-se diferentes taxas de compressão. As imagens compactadas foram então utilizadas para efetuar testes destinados a avaliar o efeito da compressão na extração de informações de maneira automatizada. Para isto, a posição dos alvos e o valor da correlação foram registrados para diferentes taxas de compressão.

Palavras-chave: Compressão de imagem; Correlação; Processamento de Imagens.

ABSTRACT

In the present article, the results of a study that aims at the study of the effect of image compression in the identification of patterns in digital images using correlation techniques are presented. For this purpose, a picture of a wall with drawn marks, used for the calibration of aerial cameras, is used. This picture was then compressed with different compression rates. The compacted images were then used to perform tests to evaluate the effect of the JPEG compression in the correlation process. For this purpose, the position of the marks, that were found through correlation, and the value of the correlation at each point were monitored .

Keywords: Image Compression; Correlation; Image Processing

1. INTRODUÇÃO

Com a evolução dos sensores remotos, quanto às resoluções espaciais e espectrais, é possível obter cada uma maior quantidade de informação a respeito de uma região do planeta. Por exemplo, para cobrir um quilômetro quadrado usando imagens do sistema SPOT pancromático, que até recentemente era o de maior resolução espacial com um pixel de 10 metros, são necessários 10000 pixels. Hoje, com sistemas sensores que possibilitam a obtenção de imagens com resolução espacial de 70 centímetros, como o Quickbird, a mesma região é coberta por mais de 2.000.000 de pixels. Este aumento de resolução trouxe grandes vantagens para o estudo da Terra, pois maior detalhe é visto nas imagens. No entanto, ele também levanta o problema do espaço para o armazenamento do grande volume de dados. O problema se torna mais agudo quando se considera que as imagens de satélite também estão sendo aprimoradas quanto à sua resolução radiométrica e espectral.

A fotogrametria, que nos dias atuais experimenta uma evolução no sentido de utilizar efetivamente imagens digitais em lugar de analógicas, também enfrenta este problema, pois o surgimento de scanners com alta resolução e câmaras digitais cada vez melhores gera um grande volume de dados que devem ser armazenados.

Com esta evolução, um fator importante entra em cena: como armazenar e transmitir o volume de dados oriundos desses produtos? Uma alternativa, muito utilizada na representação e transmissão de imagens pela Internet é a compressão de imagens. Segundo Toth (1998), as técnicas de compressão podem ser classificadas em compressão sem perdas (LossLess) e compressão com perdas (Lossy), sendo que as técnicas do segundo grupo são aquelas que oferecem uma maior taxa de redução do volume de dados. No entanto, a compressão com perdas pode ser prejudicial nos processos de análise e restituição digital das imagens.

Este artigo aborda este problema, apresentando os resultados de um experimento destinado a avaliar o efeito da compressão com perdas no processo de correlação digital. O efeito da compressão de imagens, utilizando o padrão JPEG, na extração de informações automatizadas, como a correlação digital, é avaliado por meio de testes e seus resultados discutidos.

No artigo, são primeiro apresentados os princípios da compressão de imagens e da correlação digital, para depois serem descritos os experimentos realizados usando uma imagem digital controlada.

2. COMPRESSÃO DE IMAGENS

De acordo com Toth (1998), as técnicas de compressão enfocam a redução do número de bits necessários para a representação da imagens por meio de remoção ou redução da redundância da imagem. De modo geral, três tipos de redundância podem ser identificados em imagens digitais:

- a) redundância espacial, devida à correlação existente entre os tons de cinza de pixels vizinhos. Segundo Li (2002), em grande parte das imagens, os valores de cinza dos pixels adjacentes possuem alta correlação.
- b) redundância espectral, devida à correlação existente entre as diferentes bandas espectrais de uma imagem;
- c) redundância temporal, devida à correlação existente entre quadros subsequentes de uma série de imagens, como ocorre em imagens de vídeo.

Embora o problema da compressão possa ser abordado nestas três esferas, neste artigo faz-se referência apenas ao primeiro caso, a redução da redundância espacial.

Uma imagem pode ser vista como uma seqüência de símbolos, os valores digitais de cada pixel, escolhidos dentre um alfabeto finito, definido pela resolução radiométrica da imagem. Segundo Toth (1998) é bastante razoável assumir que a ocorrência de um símbolo menos provável contenha mais informação que a ocorrência de um símbolo bastante provável. Ou seja, pixels em áreas uniformes tornam-se redundantes, pois a informação a seu respeito pode ser deduzida da vizinhança. Mais ainda, a soma das informações contidas em símbolos independentes, tomados como eventos singulares, é igual à informação contida na soma de todos os eventos. Baseado nas propriedades intuitivas, define-se a informação (I) presente em um determinado símbolo s_i , em termos de sua probabilidade $p(s_i)$:

$$I(s_i) = \log\left(\frac{1}{p(s_i)}\right) \quad (01)$$

A quantidade de informação média por símbolo da fonte ($H(S)$), em bits por símbolo, também é conhecida como entropia e é definida por:

$$H(S) = \sum_{i=1}^N p(s_i) \cdot I(s_i) = -\sum_{i=1}^N p(s_i) \cdot \log_2 p(s_i) \quad (02)$$

Quanto maior a correlação entre os pixels de uma imagem, mais dados poderão ser removidos num processo de compactação e com isso tem-se uma alta taxa de compactação e uma baixa entropia. Este princípio é usado nas técnicas de compressão sem perdas, que se baseiam na remoção de símbolos redundantes com preservação da informação original, o que permite a reconstrução da imagem original sem perdas.

As técnicas de compressão com perdas não preservam a informação completamente, pois além de remover símbolos redundantes também introduzem

outras simplificações que alteram o conteúdo de informação em favor da redução do número de símbolos a armazenar.

O sucesso dos processos de compressão pode ser medido pela taxa de compressão, que é definida como sendo a razão entre o tamanho da imagem original e o tamanho da imagem após a compressão. Infelizmente, a compressão mais eficiente, com maior taxa de compressão, está associada à perda na qualidade de imagem, o que pode acarretar incoerências geométricas ou temáticas no produto final.

1.1. O PADRÃO JPEG PARA COMPRESSÃO DE IMAGENS

O JPEG, criado pela Joint Photographic Experts Group em 1990, tornou-se um formato padrão de compressão de imagens. Ele é amplamente utilizado por programas gráficos e ganhou reconhecimento na Internet pois ele oferece uma alta redução do volume de dados a serem transmitidos. Como esta redução implica em perda de informação, seu uso na compressão de imagens de fotogrametria e sensoriamento remoto está sendo estudado (Algarni, 1996; Noval e Shahin, 1996).

Para conseguir reduzir o número de bits necessários para uma boa representação da imagem, a compressão JPEG é composta de três passos:

- a) Transformação: a Transformada Discreta de Cosenos (DCT) é usada com a finalidade de reduzir a correlação entre pixels na imagem e a faixa de variação dos valores a serem tratados. Esta operação é aplicada a blocos de 8x8 pixels na imagem, sendo cada bloco tratado de maneira independente. Após esta transformação, a imagem original é transformada em um novo domínio, de frequências, onde o número de valores de cinza é muito menor;
- b) Quantização: neste passo os valores resultantes da transformação são reduzidos a um número finito de valores inteiros, com o que a quantidade de símbolos é reduzida. Esta redução é responsável por uma certa degradação da qualidade da imagem. Como na quantização os valores são arredondados a valores inteiros, valores extremamente pequenos, que ocorrem no canto inferior direito da matriz 8x8, tornam-se nulos. Assim a quantização caracteriza um processo de perda.
- c) Codificação: Os valores quantizados são então reordenados, fazendo uma varredura da região 8x8 em zig-zag, começando no pixel superior esquerdo, onde se localiza o maior valor, até o pixel inferior direito, onde se encontra o menor valor, geralmente zero. Esta cadeia é então codificada usando um algoritmo de compressão sem perdas, como o de Huffman (Li et al, 2002).

No JPEG, o grau de compressão pode ser controlado, variando os parâmetros da quantização. Quanto maior for a compressão, menor será o tamanho do arquivo. Porém, quanto maior a compressão, maior será a perda de informação. O JPEG é muito eficiente em imagem de tons contínuos, tais como fotografias, e menos

eficiente em gráficos (line art), onde a quantidade de tons diferentes é menor. O JPEG permite graus de compressão de 10:1 a 20:1 sem perdas visíveis na qualidade da imagem. Graus de compressão de 30:1 a 50:1 podem ser atingidos com perda moderada de qualidade, enquanto imagem com qualidade baixa podem ser geradas permitindo uma compressão de 100:1.

3. CORRELAÇÃO DIGITAL DE IMAGENS

A correlação é um índice que descreve a dependência linear entre duas variáveis e serve como indicador do grau de similaridade entre este par de variáveis. Este princípio pode ser aplicado no processamento de imagens digitais para procurar determinados padrões em uma imagem ou pontos homólogos em pares estereoscópicos, comparando uma matriz de amostra com as diferentes regiões da a imagem. Os locais onde a matriz e a região da imagem forem similares serão caracterizados por um alto valor da correlação (Strauch, 1991).

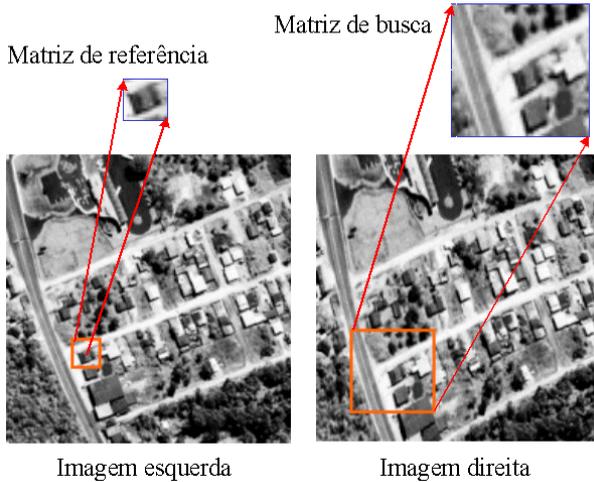
A correlação digital pode ser executada utilizando técnicas do domínio espectral, espacial e do conhecimento prévio das chamadas linhas epipolares conjugadas, da qual surgiu a correlação epipolar.

A correlação espacial pode ser estendida a métodos que levem em consideração o domínio espacial ou seja os níveis de cinza e suas coordenadas (linha, coluna). A correlação estatística é um exemplo do método de correlação espacial. A correlação espacial é também a maneira mais utilizada no processamento de imagens, pois ela pode ser diretamente implementada nas imagens originais.

Para a efetiva implementação das técnicas de correlação digital é preciso definir, na primeira imagem, a “janela de referência”, ou seja o padrão bidimensional a ser procurado na segunda. Para evitar procurar em toda a segunda imagem, algo que seria oneroso em termos computacionais, uma região onde se espera encontrar este padrão na segunda imagem é definida previamente, a “janela de busca”, como é mostrado na figura 1. Ambas matrizes contêm valores digitais das imagens originais. A “janela de referência” deve possuir menor dimensão que a janela de busca. Para facilitar a atribuição do resultado da correlação a um pixel costuma-se adotar “janelas de referência” de dimensão ímpar.

O algoritmo de correlação digital no domínio da imagem (espacial) consiste basicamente em deslocar a “janela de referência” ao longo da “janela de busca” e calcular, para cada posição, o valor da correlação entre os níveis valores digitais das duas matrizes (Kraus, 1990). A posição do ponto homólogo será caracterizada pelo maior valor da correlação. Como a “matriz de busca” é maior que a de “referência”, a cada posição apenas uma região da “matriz de busca”, de dimensão igual à “matriz de referência” é considerada para cada posição. Esta região é chamada de “matriz candidata”.

FIGURA 1 – MATRIZ DE REFERÊNCIA E MATRIZ DE BUSCA



A correlação entre as duas matrizes pode ser medida matematicamente pela relação mostrada na equação 03.

$$\rho = \frac{\sum_{i=1}^n x_i - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n x_i \right) \left(\sum_{i=1}^n y_i \right)}{\sqrt{\left(\sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2 \right) \left(\sum_{i=1}^n y_i^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n y_i \right)^2 \right)}} \quad (03)$$

Onde:

ρ corresponde ao valor da correlação;

x_i, y_i são os valores digitais das matrizes “de referência” e de “busca”, respectivamente;

n é o número de pixels da “matriz de referência”.

As duas matrizes não são idênticas devido a distorções geométricas e radiométricas. As distorções radiométricas podem ser causadas pela degradação atmosférica, diferentes condições de iluminação ou diferenças no processamento do filme. Já as distorções geométricas podem ser originadas por diferenças na

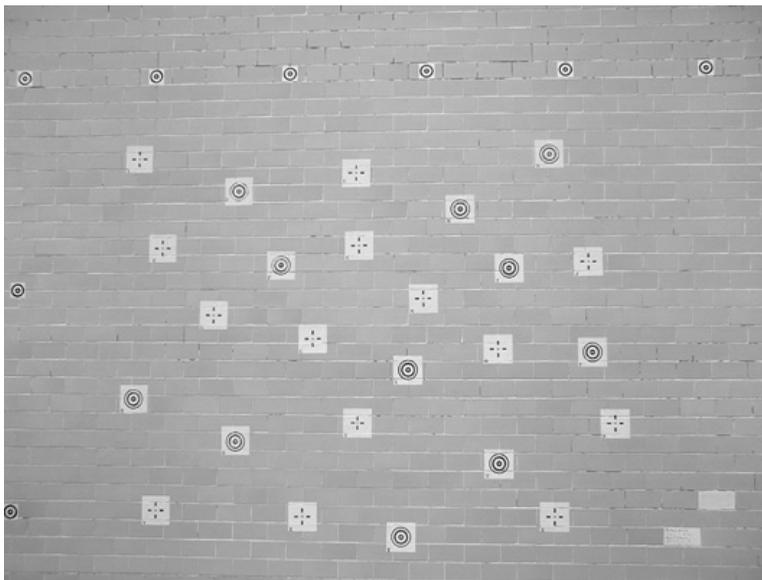
orientação da câmara/sensor, distorção da perspectiva da imagem ou deslocamento do relevo.

4. EXPERIMENTOS

O algoritmo de correlação digital foi implementado em linguagem DELPHI para a realização dos testes. Na série de experimentos, uma imagem digital de uma parede onde foram desenhados alvos bem definidos foi utilizada. Esta imagem é vista na figura 2.

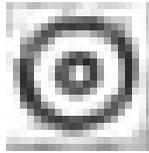
A “matriz de referência” para a correlação, foi definida a partir de um destes alvos. Adotou-se para isto um alvo bem definido, contido na imagem. A figura 3 apresenta este alvo, que corresponde à “matriz de referência”.

FIGURA 2 – PAREDE DE ALVOS – IMAGEM DE BUSCA



A “janela de referência” possui uma dimensão de 21x21 pixels, e a janela de busca 1407linhas x 2272 colunas, ou seja, toda a imagem. Neste caso, por se tratar de uma imagem pequena, não foi necessário adotar uma “janela de busca”.

FIGURA 3 - MATRIZ DE REFERÊNCIA AMPLIADA



Para avaliar o efeito da compressão no processo de correlação, primeiramente aplicou-se à imagem original vários fatores de compressão do formato JPEG, os quais são descritos na tabela 1. Em seguida, a posição do padrão previamente selecionado foi procurada em cada uma destas imagens utilizando o algoritmo de correlação. A posição de cada máximo local foi registrada, bem como o respectivo valor da correlação máxima local. O fator de correlação ρ foi limitado, em 0,6 ou 60%, a fim de otimizar o processo de procura.

TABELA 1 – RELAÇÃO DOS FATORES DE COMPRESSÃO

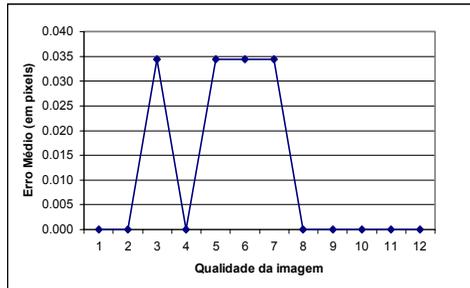
QUALIDADE DA IMAGEM		TAMANHO (Kb)
1	Baixa	155
2	Baixa	166
3	Baixa	184
4	Baixa	227
5	Média	236
6	Média	253
7	Média	310
8	Alta	374
9	Alta	406
10	Alta	508
11	Alta	742
12	Alta	1367
Imagem Original		1530

5. RESULTADOS

A qualidade da imagem foi degradada progressivamente, como é mostrado na tabela 1, e o valor do erro geométrico em cada uma destas imagens foi medido. Este erro geométrico consiste na distância entre a posição do ponto com maior correlação na imagem degradada em relação à posição do mesmo ponto na imagem original. A

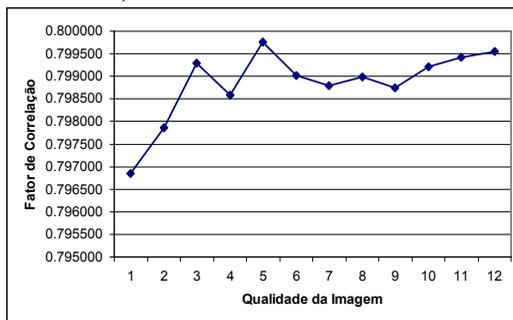
figura 4 apresenta um resumo do erro médio na localização de uma feição por correlação estatística em cada experimento. Nota-se que quando a compressão é baixa, casos 12 a 8, o erro é mínimo, como era esperado. O valor do erro cresce para as taxas médias de compressão e cai novamente a zero para as imagens compactadas com altas perdas.

FIGURA 4 – ERRO GEOMÉTRICO COM DIFERENTES FATORES DE COMPRESSÃO



Analisando os resultados das correlações encontradas nas imagens com diferentes fatores de compressão, constata-se que a correlação tende a diminuir na medida em que a taxa de compressão aumenta. Ou seja, as imagens compactadas com perdas possuem, de maneira geral, menor grau de correlação com a “matriz de referência”. Um resumo dos valores da correlação é mostrado na figura 5.

FIGURA 5 – CORRELAÇÃO COM DIFERENTES FATORES DE COMPRESSÃO



6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os experimentos apresentados mostram que o efeito da compressão de imagens com perdas tem baixa influência na eficiência da identificação da posição de padrões por correlação. Ao contrário do que era esperado, para altas taxas de compressão com perdas, a diferença entre a posição dos padrões na imagem degradada e a

correspondente posição na imagem original é nula. No entanto, estes resultados devem ser analisados com cautela, pois a imagem utilizada é uma imagem controlada, onde os padrões encontram-se bem definidos e são facilmente identificados. Estes padrões foram desenhados com a finalidade de ser visíveis em imagens para fins de calibração.

A acentuada queda dos valores da correlação, por outro lado, indica a perda de qualidade na imagem. Esta perda aumenta na medida em que a qualidade da imagem diminui e tem consequências no sucesso da identificação dos pontos, pois ela é responsável pela identificação de outros pontos falsos em posições onde o padrão não ocorre.

Os alvos utilizados nesta pesquisa foram bem identificados nas imagens altamente degradadas, embora eles tenham sido parcialmente deformados. Isto significa que a degradação introduzida pela compressão JPEG, embora afete significativamente a representação dos alvos nas imagens, causa erros geométricos significativos. No entanto, esta constatação pode não ser válida para pares de fotografias aéreas, onde os padrões procurados não são tão claramente definidos e existem outros objetos com aparência similar que podem gerar confusão. Para avaliar esta situação, sugere-se repetir os testes usando imagens aéreas ou orbitais.

7. REFERÊNCIAS

ALGARNI, D.A. Compression of remotely sensed data using JPEG. **International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing**. V.31(B3). P. 24-28. 1996.

KRAUS, K. **Auswertung photographischer und digitaler Bilder**. Band 2. Dümmler Verlag, Bonn. 1990. 614 p.

LI Z.; YUAN X.; LAM K.W.K. Effects of JPEG Compression on the Accuracy of Photogrammetric Point Determination. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**. V.68, n. 8, p. 847-853, 2002.

NOVAK, K. e SHAHIN, F.S. A comparison of two image compression techniques for softcopy photogrammetry. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**. V.62, n. 6, p. 695-701. 1996.

STRAUCH, J. C. M. **Correlação de Imagens Digitais**. Curitiba, 1991. 76p. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas), Departamento de Geociências. Universidade Federal do Paraná.

TOTH C.K. Image Compression in Photogrammetric Practice: An Overview. **Manual of Photogrammetry Addendum**. 1998.

RESTITUIÇÃO DIGITAL DE MONUMENTOS HISTÓRICOS

Simone da Silva Soria Medina¹
Quintino Dalmolin²

1 Universidade Federal do Paraná – moni@cce.ufpr.br

2 Universidade Federal do Paraná – dalmolin@geoc.ufpr.br

RESUMO

O presente trabalho tem por objetivo mostrar as precisões encontrados na elaboração de produtos fotogramétricos, obtidos por mono e estereorestituição digital, na representação gráfica de monumentos históricos. A elevação principal do “Solar do Rosário”, monumento localizado no Centro Histórico da Cidade de Curitiba, foi utilizada como teste neste trabalho. As etapas correspondentes à metodologia foram: 1) escolha do monumento teste; 2) tomada das fotografias; 3) levantamento dos pontos de apoio; 4) processamento da fototriangulação com auto calibração; 5) elaboração dos produtos fotogramétricos: estereorestituição e monorestituição; e 6) avaliação dos produtos fotogramétricos. Na estereorestituição, as feições de interesse do monumento foram extraídas manualmente a partir de um restituidor digital e na monorestituição, as mesmas feições foram extraídas manualmente no sistema *MicroStation PC*, e então retificadas através do sistema *Monorestituidor Digital*. As análises foram baseadas na classificação do ICOMOS (Conselho Internacional de Monumentos e Sítios) para levantamentos de monumentos e sítios históricos: simples; precisos; e alta precisão, tomando como padrão de comparação pontos cujas coordenadas foram determinadas topograficamente.

Palavras-chave: Fotogrametria Arquitetônica; Restituição Digital; Cadastramento

ABSTRACT

The present paper show the results obtained in the elaboration of photogrammetric products through stereophotogrammetric restitution and mono-differential restitution, in the graphic representation of historical monuments. The “Solar of Rosário”, monument located in the Historical Center of Curitiba, were utilized to apply the methodology describe in this work. The phases were: 1) selection of the monument; 2) photogrammetric survey; 3) topographic survey; 4) phototriangulation with câmera calibration; 5) elaboration of the stereorestitution

and mono-differential; and 6) estimation of the accuracy obtained in the restitutions. In the stereophotogrammetric restitution, the features of interest of the monument were extracted from a “digital restitution system”. In the mono-differential restitution, the same features were extracted in the system MicroStation PC and then rectified through of the system “Monorestituidor Digital”. The analyses of accuracy were based in the classification of the ICOMOS (International Council of Monuments Sites): simple; precise; and high precise. This analysis utilized points distributed in the surface from the monument, whose coordinated were obtained through topographic survey, to establish the standard of comparison to analysis of the products.

Keywords: Architectural Photogrametry; Digital Restitution; Cadastre

1. INTRODUÇÃO

A representação gráfica de um monumento arquitetônico consiste de um trabalho minucioso, realizado a partir de medições, que podem ser efetuadas por métodos diretos e indiretos. Os métodos de medição direta são morosos e exaustivos, porém são os mais utilizados em levantamentos desta natureza. Desde meados do século XIX, experiências de levantamentos fotogramétricos (medição indireta) aplicados à Arquitetura, estão sendo realizadas, mostrando que a Fotogrametria pode ser uma boa opção para documentar um monumento.

O Levantamento por Fotogrametria é considerado rápido e eficaz para obtenção de informações precisas a respeito de um objeto, uma vez que a própria fotografia já é um documento. Existem diferentes métodos fotogramétricos que podem ser aplicados em levantamentos arquitetônicos. A sua escolha deve levar considerar a finalidade a que se destina o levantamento, assim como a precisão requerida.

A utilização da Fotogrametria é muitas vezes considerada impraticável, devido ao instrumental necessário e à mão de obra altamente especializada. No entanto estes fatores estão sendo gradativamente minimizados com o avanço da computação gráfica, processamento de dados e em consequência da Fotogrametria Digital. Os equipamentos fotogramétricos estão sendo substituídos por programas computacionais, que proporcionam soluções nas formas vetorial e raster.

A facilidade operacional de alguns métodos fotogramétricos tem permitido que o próprio usuário elabore a documentação gráfica de um monumento. Para que isto seja possível é necessário o conhecimento de cada uma das etapas necessárias para o desenvolvimento do produto fotogramétrico, desde a tomada das fotografias e levantamento dos pontos de apoio até a elaboração do produto final.

O presente trabalho tem por objetivo mostrar a precisão alcançada na elaboração de produtos fotogramétricos: monorestituição e estereorestituição digitais, no

levantamento efetuado na elevação principal do “Solar do Rosário”, apresentando cada uma das etapas envolvidas no processo.

2. LEVANTAMENTO GRÁFICO DE MONUMENTOS HISTÓRICOS

O levantamento gráfico de monumentos históricos consiste de uma descrição gráfica minuciosa do edifício, obtido a partir da tomada de medidas de largura, comprimento e altura dos ambientes assim como do registro dos detalhes construtivos, com o objetivo de torná-lo um instrumento de documentação a ser utilizado nas análises e investigações. Este levantamento pode estabelecer vínculos que vão desde os estudos históricos até aqueles puramente tecnológicos, ratificando, portanto, as funções de registro, identificação e proposição que este instrumento assume. (Almeida & Santana, 2000)

O registro gráfico proporciona a leitura do espaço e de sua arquitetura assim como de suas tipologias, morfologia e estado de conservação, além de ganhar importância no processo de avaliação da integração da nova arquitetura projetada com seu entorno, como um ato de tecer o novo e o antigo juntos. (Sampaio, 2000)

A idéia de se utilizar as propriedades geométricas de fotografias em levantamentos de monumentos arquitetônicos surgiu por volta de 1840, porém o primeiro levantamento realizado foi desenvolvido por Albrecht Meydenbauer no ano de 1867, quando foi introduzido o termo “Fotogrametria Arquitetônica”. (Carbonell, 1989)

O uso da Fotogrametria em levantamentos arquitetônicos ficou estagnado durante muitos anos. Somente após a 2ª Guerra Mundial, com a finalidade de registro de monumentos históricos, como subsídio a trabalhos de conservação e restauração, é que a Fotogrametria Arquitetônica começou a ser motivada. Hoje, muitos levantamentos arquitetônicos baseiam-se em técnicas fotogramétricas.

Para o ICOMOS (Conselho Internacional de Monumentos e Sítios), os levantamentos para representações de monumentos são divididos em três grupos, de acordo com suas necessidades e exigências. O primeiro grupo, denominado de levantamentos rápidos e relativamente simples engloba os estudos preliminares, inventário e estudo da história da arte. O erro máximo permitido no posicionamento dos pontos é de 5 cm, sendo a representação gráfica efetuada na escala 1:100 ou 1:200. A representação envolve linhas arquitetônicas principais, em elevações e seções verticais.

O segundo grupo, denominado de levantamentos precisos, atende as exigências mais gerais dos arquitetos e historiadores da arte. A escala da representação gráfica deste grupo é normalmente 1:50, sendo de 1 a 2 cm o erro máximo permitido no posicionamento dos pontos. Para edifícios grandes

a escala preferida é 1:100, porém com detalhes em 1:20 ou 1:10. O levantamento envolve elevações de fachadas exteriores e de paredes interiores, seções verticais, plantas, desenho de abóbadas ou tetos. Para expressar a forma de superfícies curvas, abóbadas ou cúpulas são utilizadas curvas de nível.

O terceiro grupo de levantamentos corresponde ao de alta precisão. O erro máximo admissível nos levantamentos deste grupo é de 1 mm, chegando em alguns casos a 0,1 mm. A aplicação destes levantamentos está na representação de elementos esculpidos (estátuas ou decoração) ou ainda em objetos arqueológicos ou de arte.

3. METODOLOGIA

3.1. ESCOLHA E CARACTERIZAÇÃO DO MONUMENTO TESTE

A elevação frontal da Casa de Ignácio de Paula França (conhecida atualmente por Solar do Rosário) foi escolhida para a elaboração desta pesquisa. A edificação foi construída, de acordo com GONÇALVES et. al. (1986), entre 1887 e 1891 e está situada no Centro Histórico da Cidade de Curitiba. A figura 01 mostra a elevação frontal do Solar do Rosário, que passará a ser designada neste trabalho por fachada principal do monumento teste. A casa foi construída originalmente em dois pavimentos, tendo sua fachada principal, aproximadamente, 10 metros de altura por 10 metros de largura, apresentando como característica principal a simetria de suas feições. A superfície se apresenta praticamente plana, com detalhes em baixo relevo e na parte superior central existe uma sacada de ferro exaustivamente trabalhada.

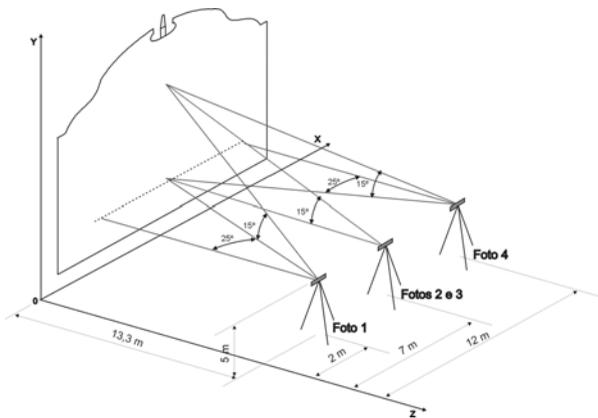
FIGURA 01 - FACHADA PRINCIPAL DO SOLAR DO ROSÁRIO



3.2. TOMADA DAS FOTOGRAFIAS

O levantamento fotográfico foi realizado com a câmera semi-métrica *Rolleiflex 6006*, dotada de “*reseau*”, com distância focal nominal de 50 mm. A câmera possui quadro do negativo com dimensões de 6 x 6 cm, apresentando 121 marcas fiduciais distribuídas uniformemente. Foram obtidas quatro fotografias da fachada principal do monumento teste, a partir de três diferentes estações de exposição, conforme mostra a figura 02. As fotografias 2 e 3 foram obtidas da mesma estação de exposição porém para a tomada da fotografia 3, rotacionou-se a câmera, em torno do eixo Z, de um valor de aproximadamente 90°, no sentido anti-horário.

FIGURA 02 - ESTAÇÕES DE EXPOSIÇÃO DAS FOTOGRAFIAS



3.2.1. Digitalização das Fotografias

Após a revelação do filme fotográfico os negativos foram transformados para meio digital. A conversão analógica/digital foi realizada através do *scanner fotogramétrico WERHLI*, com resolução óptica de 2500 *DPI*, gerando uma imagem com dimensão linear do *pixel* de 0,012 mm.

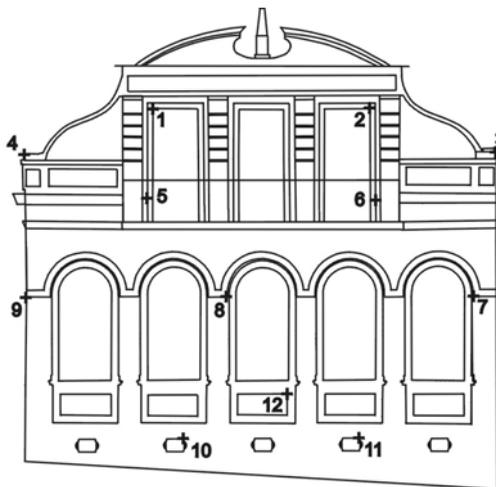
3.2.2. Leitura das coordenadas fotogramétricas

As coordenadas dos pontos de apoio, pontos fotogramétricos e marcas do *reseau*, no referencial instrumental, foram obtidas através do módulo de leitura de pontos (programa MDL) do *Sistema Monorestituídor Digital* associado ao *Sistema MicroStation PC* e foram posteriormente transformadas para o sistema fiducial, sendo, neste momento, corrigidas quanto ao trabalho do filme.

3.3. LEVANTAMENTO DOS PONTOS DE APOIO

A determinação dos pontos de apoio foi realizada pelo método topográfico de interseção à vante (ver SORIA MEDINA, 2002). Foram selecionados 12 pontos nas feições da fachada (cantos de portas e detalhes arquitetônicos), sendo sua distribuição determinada de maneira a cobrir toda a superfície de interesse e pode ser observada na figura 03.

FIGURA 3 - DISTRIBUIÇÃO DOS PONTOS DE APOIO NA FACHADA



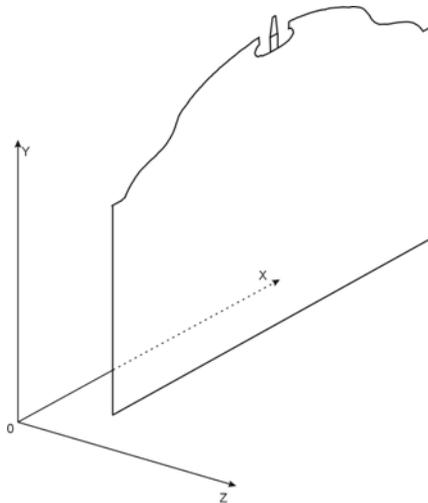
Quanto ao instrumental topográfico, foi utilizada uma estação total Leica TC 2002 com prisma na medição da distância da base. A precisão angular deste equipamento é de $1''$. As coordenadas foram calculadas pelo método denominado de interseção espacial (ver Ibiapina et. al., 1993).

A determinação das coordenadas dos pontos de apoio foi realizada num referencial cartesiano tridimensional local, adotando como origem o centro óptico do instrumento na estação de observação da esquerda (Estação A). O eixo X foi definido pela direção da base (direção AB), o eixo Z coincidente com a vertical da estação A e o eixo Y formando um terno cartesiano dextrógiro.

Aplicou-se às coordenadas dos pontos do espaço objeto obtidas do levantamento topográfico uma translação da origem e uma rotação em torno do eixo X, de maneira a deixar o eixo Z correspondendo à profundidade das feições e o plano XY paralelo ao plano principal da fachada. Os parâmetros de translação foram

determinados de maneira a deixar todos os pontos do espaço objeto com coordenadas positivas, ficando o referencial do espaço objeto, conforme esquematizado na figura 04.

FIGURA 04 - SISTEMA DE COORDENADAS DO ESPAÇO OBJETO



3.4. PROCESSAMENTO DA FOTOTRIANGULAÇÃO

Com as coordenadas dos pontos de controle, no referencial do espaço objeto, valores aproximados dos pontos fotogramétricos neste mesmo referencial, coordenadas destes pontos (apoio e fotogramétricos) no referencial fiducial, valores aproximados das coordenadas do centro perspectivo (X, Y, Z) e de orientação de cada fotografia (ω, φ, κ) procedeu-se a etapa correspondente ao processamento da fototriangulação, efetuado no programa computacional *FOTTER* (ver Silva, 1995).

Aplicou-se a técnica de fototriangulação com auto-calibração a fim de recuperar os parâmetros de calibração da câmera ($f, x_0, y_0, k_1, k_2, k_3, P_1, P_2$), assim como a atitude de cada fotografia ($\omega, \varphi, \kappa, X_0, Y_0, Z_0$), simultaneamente ao ajustamento das coordenadas dos pontos fotogramétricos e de apoio no referencial do espaço objeto.

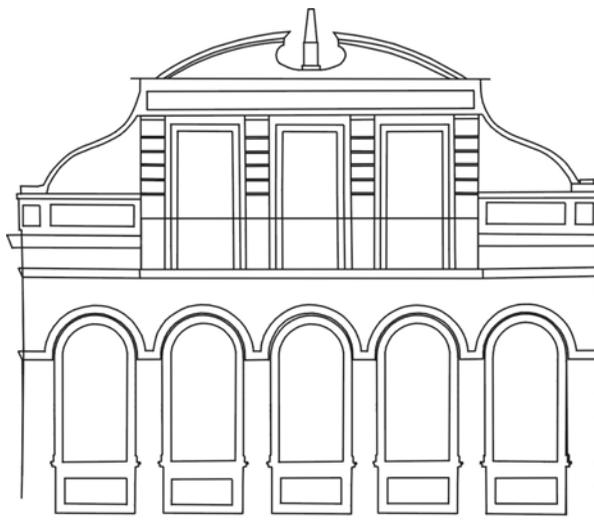
3.5. ELABORAÇÃO DOS PRODUTOS FOTOGRAMÉTRICOS

Após as etapas descritas anteriormente foram então elaborados dois produtos, ambos em maio digital: estereorestituição e monorestituição.

3.5.1. Estererestituição

A estereorestituição foi realizada na empresa *Engefoto* em uma estação de trabalho digital (denominada de restituidor digital) baseada no método do estereoscópio. Neste método, duas imagens homólogas, devidamente orientadas, são colocadas lado a lado na tela do computador, formando um modelo de visão tridimensional. As fotografias 1 e 2 foram escolhidas para a formação do modelo estereoscópico digital e as feições de interesse foram extraídas manualmente constituindo um arquivo gráfico tridimensional em meio digital, no sistema de computação gráfica *MicroStation PC*. A figura 05 mostra o resultado desta restituição.

FIGURA 05 - FACHADA RESTITUÍDA ESTEREOSCOPICAMENTE



3.5.2. Monorestituição

A monorestituição foi realizada no *Sistema Monorestituidor Digital* (ver Mitishita, 1997), associado ao sistema de computação gráfica *MicroStation PC* e seu módulo de tratamento de imagens *Descartes*. Assim como na estereorestituição foram extraídas as feições de interesse, num arquivo gráfico vetorial.

O *Sistema Monorestituidor Digital* aplica técnicas da Fotogrametria Analítica e através de observações monoscópicas em imagens digitais, são realizados todos os procedimentos fotogramétricos necessários à monorestituição. O principal

procedimento consiste em retificar o arquivo gráfico oriundo da extração de entidades, transformando-o para o sistema de coordenadas do espaço objeto.

A retificação é baseada nas equações de colinearidade (em sua forma inversa), que requerem o conhecimento de: coordenadas dos pontos do espaço imagem, no sistema fotogramétrico; coordenadas do centro de projeção e ângulos eulerianos da câmera, no referencial do espaço objeto; e coordenada referente à profundidade dos pontos (Z), no referencial do espaço objeto.

O valor da profundidade de cada ponto do espaço objeto, no *Sistema Monorestituído Digital*, é obtido através de um procedimento de interpolação altimétrica, a partir de um modelo digital da superfície – MDS, gerado a partir de pontos de referência tridimensionais. A qualidade do produto resultante da monorestituição depende da qualidade do MDS: se o modelo não representar a superfície com fidelidade, o produto não corresponderá à realidade.

Superfícies arquitetônicas são caracterizadas por descontinuidades, fator este que gera imperfeições na produção de um MDS. Estas imperfeições inviabilizam a aplicação da monorestituição na representação gráfica de obras arquitetônicas. A solução encontrada para obter um produto através da extração monoscópica das feições de interesse do monumento teste foi “fatiar” a superfície por diferentes planos, paralelos ao plano principal da fachada.

Foram produzidos quatro arquivos vetoriais distintos, cada um correspondendo às feições arquitetônicas de mesma profundidade. Após a retificação de cada um destes arquivos, realizou-se um agrupamento de modo a juntar todas as informações em um único arquivo, o qual passou por um processo posterior de edição final das entidades.

3.6. COMPARAÇÃO DOS PRODUTOS FOTOGRAMÉTRICOS

A comparação dos produtos foi realizada através de coordenadas de pontos distribuídos em toda a fachada, contemplando diferentes profundidades. Foram escolhidos 28 pontos, denominados de pontos de comparação, assim distribuídos: 8 pontos no plano principal da fachada; 8 pontos em um segundo plano, distante 6 cm do plano principal; 8 pontos cuja profundidade dista 10 cm do plano principal; e um quarto plano cuja distância ao principal corresponde a 72 cm.

4. RESULTADOS E ANÁLISES

4.1. PONTOS DE COMPARAÇÃO

A tabela a seguir mostra as coordenadas dos pontos de comparação, referenciadas ao espaço objeto, obtidas no levantamento topográfico, na estereorestituição e na monorestituição.

TABELA 01 - COORDENADAS DOS PONTOS DE COMPARAÇÃO

Ponto/Plano	Levantamento Topográfico			Estereorestituição		Monorestituição	
	X (m)	Y (m)	Z (m)	X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)
1-1	6,329	11,776	3,002	6,330	11,776	6,330	11,780
2-1	7,333	11,770	2,991	7,335	11,771	7,340	11,780
3-1	9,290	11,777	2,955	9,290	11,782	9,290	11,790
4-1	2,058	7,553	3,102	2,065	7,552	2,070	7,550
5-1	6,066	7,561	2,979	6,070	7,557	6,070	7,564
6-1	7,624	7,600	2,967	7,628	7,557	7,620	7,560
7-1	11,413	5,366	2,852	11,412	5,370	11,410	5,370
8-1	8,269	5,368	2,934	8,273	5,370	8,270	5,380
1-2	1,914	7,714	3,165	1,921	7,709	1,920	7,710
2-2	3,783	7,716	3,125	3,787	7,723	3,790	7,740
3-2	5,928	7,718	3,045	5,924	7,714	5,930	7,710
4-2	7,779	7,719	3,019	7,784	7,715	7,780	7,720
5-2	9,891	7,722	2,976	9,896	7,715	9,900	7,720
6-2	11,773	7,725	3,189	11,775	7,726	11,770	7,720
7-2	1,428	9,251	3,198	1,431	9,250	1,430	9,250
8-2	12,153	9,265	2,941	12,154	9,266	12,160	9,270
1-3	4,146	11,687	3,103	4,146	11,685	4,150	11,680
2-3	4,145	11,170	3,103	4,146	11,169	4,140	11,180
3-3	5,632	11,679	3,081	5,630	11,682	5,640	11,670
4-3	6,078	11,167	3,075	6,078	11,169	6,080	11,160
5-3	8,029	11,646	3,031	8,030	11,649	8,030	11,650
6-3	7,591	10,899	3,054	7,593	10,903	7,590	10,900
7-3	9,508	11,695	3,003	9,508	11,694	9,510	11,700
8-3	9,928	10,908	2,998	9,953	10,903	9,930	10,910
1-4	3,707	10,166	3,783	3,705	10,167	3,710	10,170
2-4	3,704	9,224	3,776	3,704	9,224	3,700	9,220
3-4	9,944	9,230	3,671	9,950	9,231	9,950	9,230
4-4	9,948	10,172	3,668	9,951	10,172	9,950	10,170

4.2. ANÁLISE DA ESTEREORESTITUIÇÃO

A tabela 02, mostra as diferenças encontradas nas coordenadas dos pontos de comparação, referentes ao espaço objeto, obtidas por observações na estereorestituição com as determinadas topograficamente. A tabela 03 mostra o quanto os pontos se desviaram dos obtidos topograficamente.

TABELA 02 – DIFERENÇAS ENTRE AS COORDENADAS DOS PONTOS DE COMPARAÇÃO OBTIDAS POR ESTEREORESTITUIÇÃO

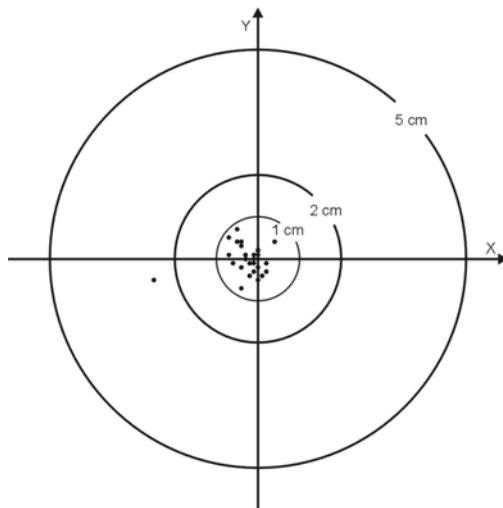
Ponto/Plano	X (m)	Y (m)	Ponto/Plano	X (m)	Y (m)
1-1	-0,001	0,000	7-2	-0,003	0,001
2-1	-0,002	-0,001	8-2	-0,001	-0,001
3-1	0,000	-0,005	1-3	0,000	0,002
4-1	-0,007	0,001	2-3	-0,001	0,001
5-1	-0,004	0,004	3-3	0,002	-0,003
6-1	-0,004	0,003	4-3	0,000	-0,002
7-1	0,001	-0,004	5-3	-0,001	-0,003
8-1	-0,004	-0,002	6-3	-0,002	-0,004
1-2	-0,007	0,005	7-3	0,000	0,001
2-2	-0,004	-0,007	8-3	-0,025	0,005
3-2	0,004	0,004	1-4	0,002	-0,001
4-2	-0,005	0,004	2-4	0,000	0,000
5-2	-0,005	0,007	3-4	-0,006	-0,001
6-2	-0,002	-0,001	4-4	-0,003	0,000

TABELA 03 – DESVIOS DOS PONTOS DE COMPARAÇÃO OBTIDOS POR ESTEREORESTITUIÇÃO

Ponto/Plano	Desvio (cm)	Ponto/Plano	Desvio (cm)
1-1	0,1	8-2	0,1
2-1	0,2	1-3	0,2
3-1	0,5	2-3	0,1
4-1	0,7	3-3	0,4
5-1	0,6	4-3	0,2
6-1	0,5	5-3	0,3
7-1	0,4	6-3	0,4
8-1	0,4	7-3	0,1
1-2	0,9	8-3	2,5
2-2	0,8	1-4	0,2
3-2	0,6	2-4	0,0
4-2	0,6	3-4	0,6
5-2	0,9	4-4	0,3
6-2	0,2	Média	0,5
7-2	0,3	Desvio Padrão	0,5

A figura 07 representa graficamente as diferenças obtidas nas tabelas 02 e 03, mostrando o deslocamento de cada ponto obtido da estereorestituição, em relação aos determinados topograficamente. Verifica-se que os 28 pontos analisados estão internos à circunferência externa, que corresponde a um desvio de 5 cm, atendendo às especificações do ICOMOS para levantamentos rápidos e relativamente simples. Apenas um deles (ponto 8-3, com desvio de 2,5 cm) não atende ao estabelecido para levantamentos precisos, que pressupõe desvio máximo de 2 cm. Observa-se que a maioria dos pontos se concentraram internamente ao círculo que corresponde a um desvio de 1 cm, sendo o desvio médio de 0,5 cm, podendo afirmar que a precisão encontrada foi superior a 1 cm.

FIGURA 07 - DESVIOS DOS PONTOS DE COMPARAÇÃO OBTIDOS NA ESTEREORESTITUIÇÃO



4.3. ANÁLISE DA MONORESTITUIÇÃO

A tabela 04 mostra as diferenças encontradas nas coordenadas dos pontos de comparação, referentes ao espaço objeto, obtidas por observações realizadas no produto obtido por monorestituição com as determinadas topograficamente. A tabela 05 mostra os desvios entre os pontos obtidos por monorestituição e os obtidos topograficamente.

TABELA 04 – DIFERENÇAS ENTRE AS COORDENADAS DOS PONTOS DE COMPARAÇÃO OBTIDAS POR MONORESTITUIÇÃO

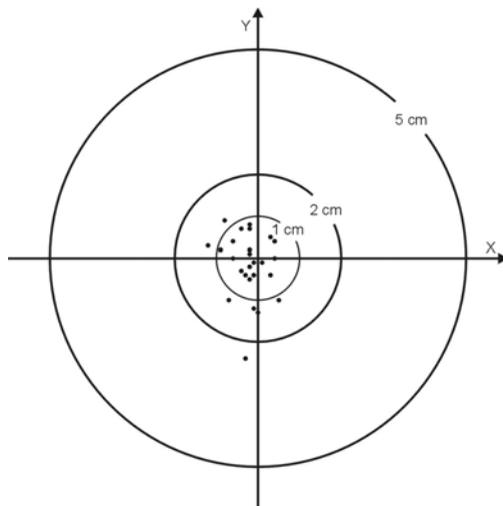
Ponto/Plano	X (m)	Y (m)	Ponto/Plano	X (m)	Y (m)
1-1	-0,001	-0,004	7-2	-0,002	0,001
2-1	-0,007	-0,010	8-2	-0,007	-0,005
3-1	0,000	-0,013	1-3	-0,004	0,007
4-1	-0,012	0,003	2-3	0,005	-0,010
5-1	-0,004	-0,003	3-3	-0,008	0,009
6-1	0,004	0,000	4-3	-0,002	0,007
7-1	0,003	-0,004	5-3	-0,001	-0,004
8-1	-0,001	-0,012	6-3	0,001	-0,001
1-2	-0,006	0,004	7-3	-0,002	-0,005
2-2	-0,007	-0,024	8-3	-0,002	-0,002
3-2	-0,002	0,008	1-4	-0,003	-0,004
4-2	-0,001	-0,001	2-4	0,004	0,004
5-2	-0,009	0,002	3-4	-0,006	0,000
6-2	0,003	0,005	4-4	-0,002	0,002

TABELA 05 - DESVIOS DOS PONTOS DE COMPARAÇÃO OBTIDOS POR MONORESTITUIÇÃO

Ponto/Plano	Desvio (cm)	Ponto/Plano	Desvio (cm)
1-1	0,4	8-2	0,9
2-1	1,2	1-3	0,8
3-1	1,3	2-3	1,1
4-1	1,2	3-3	1,2
5-1	0,5	4-3	0,7
6-1	0,4	5-3	0,4
7-1	0,5	6-3	0,1
8-1	1,2	7-3	0,5
1-2	0,7	8-3	0,3
2-2	2,5	1-4	0,5
3-2	0,8	2-4	0,6
4-2	0,1	3-4	0,6
5-2	0,9	4-4	0,3
6-2	0,6	Média	0,7
7-2	0,2	Desvio Padrão	0,5

Assim como realizado na análise do produto da estereorestituição, os desvios encontrados entre as coordenadas dos pontos de comparação obtidas topograficamente, com as obtidas da monorestituição (tabelas 04 e 05) foram representados graficamente, conforme mostra a figura 08. Todos os pontos analisados pertencem ao círculo externo, apresentando desvio inferior a 5 cm (grupo de levantamentos rápidos ou relativamente simples). Apenas um ponto (ponto 2-2, com desvio de 2,5 cm) não pertence ao círculo correspondente ao grupo de levantamentos precisos (desvio inferior a 2 cm).

FIGURA 08 – DESVIOS DOS PONTOS DE COMPARAÇÃO OBTIDOS NA MONORESTITUIÇÃO



Analisando as tabelas 03 e 05, juntamente com as figuras 07 e 08, se verifica que os desvios obtidos nas coordenadas dos pontos de comparação na estereorestituição (média de 0,5 cm com desvio padrão de 0,5 cm) se apresentaram mais homogêneos do que os obtidos na monorestituição (média de 0,7 cm com desvio padrão de 0,5 cm), porém ambos produtos (obtidos por monorestituição e estereorestituição) atendem às especificações do ICOMOS para o grupo de levantamentos rápidos como também ao grupo de levantamentos precisos.

5. CONCLUSÕES

Com os resultados obtidos da comparação entre coordenadas obtidas topograficamente (consideradas isentas de erros) com as obtidas a partir da estereorestituição, se verificou que os pontos sofreram deslocamentos médios inferiores a 1 cm, atendendo portanto às precisões estabelecidas pelo ICOMOS para levantamentos rápidos e precisos, que pressupõe deslocamentos inferiores a 5 cm e 2 cm, respectivamente.

Os resultados encontrados nas coordenadas obtidas a partir da monorestituição ofereceram precisão semelhante à encontrada na estereorestituição: melhor que 1 cm, atendendo portanto às precisões estabelecidas pelo ICOMOS para levantamentos rápidos e precisos.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A recomendação do método fotogramétrico a ser utilizado na representação de monumentos históricos, depende das características da construção. A estereorestituição pode ser utilizada tanto em obras simples, como em complexas (estilo barroco ou estátuas). A estereorestituição possui também como vantagem a extração das feições em um único plano gráfico, não necessitando de edição posterior. A monorestituição deve ser utilizada para obras que admitam “fatiamento”, constituindo sua vantagem principal a facilidade operacional, não necessitando de profissionais especializados dotados de visão estereoscópica.

7. REFERÊNCIAS

ALMEIDA, M. do C. B. E. de; SANTANA, M. C. de. Levantamento gráfico das ruínas da casa da Torre de Garcia D'Ávila. In Graphica 2000. Ouro Preto. **Anais...** Ouro Preto: ABEG, 2000.

CARBONELL, M. Architectural Photogrammetry. In: KARARA, H. M. **Non-topographic photogrammetry**. Falls Church, Virginia: American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, 1989. p.321-347.

GONÇALVES, A. et. al. **Casa de Inácio de Paula França**. Trabalho de Graduação Curitiba: UFPR, 1986.

IBIAPINA, D. S.; SILVA, I; MANZOLEO NETO, O. Método topográfico para o posicionamento tridimensional de um ponto. In: XVI Congresso Brasileiro de Cartografia. Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SBC, 1993. p. 261-267.

MITISHITA, E. A.. **Monorestituição digital de aerofotos, associada com sistema de computação gráfica C.A.D., para fins de mapeamento na área florestal**. Curitiba, 1997. 253f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal). Universidade Federal do Paraná.

SAMPAIO, S. Aspectos urbanos, históricos e legais da preservação do Brasil. **Revista do ICOMOS-Brasil**. São Paulo: ICOMOS/BR, 1998. p. 8-17.

SILVA, D. C. da. **Considerações práticas em fotogrametria a curta distância aplicada ao levantamento de um tanque e a questão de precisão e exatidão**. Curitiba: UFPR, 1995. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas). Universidade Federal do Paraná.

SORIA MEDINA, S. da S. **Análise de produtos fotogramétricos para cadastramento de monumentos arquitetônicos**. Curitiba, 2002. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas). Universidade Federal do Paraná.

FERRAMENTA DE SIMULAÇÃO DE DADOS LASER SCANNING PARA O SISTEMA TOPOSYS

Marcio A. R. Schmidt¹
Prof. Dr. Centeno, J. A.²
Dipl.-Ing. Steinle, E.³

- 1 Universidade Federal do Paraná - marsgerman@hotmail.com
- 2 Universidade Federal do Paraná - centeno@geoc.ufpr.br
- 3 Universität Karlsruhe (TH - IPF) - steinle@ipf.bau-verm.uni-karlsruhe.de

RESUMO

O objetivo da gerência de desastres é minimizar os seus efeitos através do uso eficaz de recursos disponíveis. Isto envolve organização das atividades de equipes do salvamento e fornecimento de base de informação para os responsáveis. Para o estabelecimento de estratégias de atuação é necessária a aquisição rápida da informação bem como atualizações freqüentes destes dados, pois a situação depois que um desastre acontece deve ser conhecida com clareza para se tomar as medidas apropriadas.

O IPF como membro do *Collaborative Research Center 461 (CRC461)*, uma organização de cientistas alemães e romenos, em caráter multidisciplinar, para estudo e previsão de terremotos na região de Bucareste, vem desenvolvendo ferramentas e métodos para obtenção dessas informações e tornar possíveis esses objetivos. Nesse contexto este trabalho se encaixa servindo como ferramenta para a produção de dados laser scanning simulados que servirão de base para outros programas utilizados no IPF para detecção, interpretação e previsão de avarias em edificações quando se deseja fazer um estudo das dimensões dos danos após um desastre ou mesmo em caráter preventivo através da comparação desses dados simulados com um banco de dados existente.

Palavras-chave: Laser scanner, simulação, sistema TopoSys

ABSTRACT

The objective of the management of disasters is to minimize its effect through the efficient use of available resources. This involves organization of the activities of teams of the rescue and supply of base of information for the responsible ones. For the establishment of performance strategies the fast acquisition of the information as well as frequent updates of these data is necessary, therefore the

situation later that a disaster happens must be known with clarity to be overcome the appropriate measures.

The IPF as member of the Collaborative Research Center 461 (CRC461), an organization of scientists German and Rumanians, in character multidisciplinary, for study and forecast of earthquakes in the region of Bucharest, comes developing tools and methods for attainment of these information and to become possible these objectives

In this context this work if it incases serving as tool for the production of simulated data laser scanning that they will serve of base for other programs used in the IPF for detention, interpretation and forecast of you damage in constructions when a same disaster or in preventive character through the comparison of these simulated giving with a bank of giving existing is desired to after make a study of the dimensions of the damages.

Keywords: Laser scanner, simulation, TopoSys

1. INTRODUÇÃO

Para a execução da análise proposta foi criado um programa para execução dos cálculos. A informação resultante dessa análise é uma grade regular em formato raster de pontos interpolados a partir de dados simulados pelo próprio programa correspondentes as informações primeiros pulsos (fp) e últimos pulsos (lp), baseado em modelos vetoriais resultantes de dados laser obtidos de levantamentos executados previamente.

A resolução matemática adotada leva em consideração a possibilidade de se interpretar o comportamento do laser como uma linha no espaço sem sofrer distorções na trajetória ou dispersões significativas. Isso permite a aplicação de conceitos matemáticos simples como a intersecção reta e planos para determinação dos centros geométricos dos *footprints* e posterior cálculo das coordenadas de *first pulse* e *last pulse*.

2. REVISÃO TEÓRICA:

O sistema de escaneamento a laser embarcado (ALS), é um sistema de modelagem de superfície que tem como principio a emissão e recepção de feixes de raios laser da plataforma até a superfície da terra e transformar o intervalo de tempo envolvido em distância. O tempo gasto para o feixe sair do receptor e refletir no solo é medido e, baseada na velocidade da luz teórica, pode ser determinada a distancia do sensor até o solo (Centeno J. S.et al. 2000).

Os sistemas laser são compostos de três partes sendo um sistema de medição laser que emite e recebe os sinais laser, um sistema de varredura optomecânico que redireciona os raios em direção a superfície e uma unidade de registro que guarda os

tempos de emissão e reflexão. O laser percorre a superfície do terreno abaixo da aeronave e registra a distância até o solo para cada um dos feixes emitidos, sendo registrado também o respectivo ângulo de inclinação de cada feixe em relação a vertical do lugar. A varredura é feita no sentido transversal à direção de vôo com um ângulo de abertura especificada pelo operador. Este ângulo de abertura permite a determinação da largura da faixa enquanto o movimento da aeronave permite a cobertura na direção de vôo. As pulsações óticas refletidas no solo são coletadas pelo receptor e convertidas de sinal ótico para eletrônico. Quando o feixe atinge uma superfície, parte é refletida de volta ao sensor e parte é refletida em outras direções. Na parte que é refletida de volta ao sensor, os raios chegam ao sensor em tempos diferentes devido a inclinações do terreno. Acrescentando-se a isso a dispersão padrão do feixe de lasers que, a uma altura de vôo de aproximadamente 800m, um *footprint* de aproximadamente 1m² é gerado.

O laser tem uma boa definição na coordenada Z, em torno de 0,15m para o sistema Toposys II, e uma definição um pouco inferior nas coordenadas planimétricas. Por esta razão atualmente se atribui às coordenadas X e Y do sinal refletido um ponto de coordenadas no centro teórico, mesmo sabendo-se que as coordenadas estão em qualquer lugar dentro da elipse que o sinal faz sobre o plano. A coordenada Z é atribuída o valor da altura da primeira reflexão, nas imagens *first pulse*, e da última reflexão nas imagens *last pulse*. (Löhr U., Eibert M. 1999)

O sistema Toposys II é um sensor de fibras óticas alocados em linha no plano focal das lentes receptoras e, por meio de dois espelhos rotativos sincronizados, cada fibra é escaneada seqüencialmente. Isso possibilita alcançar altas taxas de medições, até 630Hz (Baltasvias, E.P.1999). Esse principio de operação é conhecido como padrão push-broom. Além disso, o pequeno ângulo do FOV (*Field Of View*) evita o efeito de sombreamento nas bordas da faixa.

3. MATERIAIS:

Esta imagem é uma montagem composta por quatro bandas espectrais. A área é um recorte da imagem compreendendo o campus da universidade de Karlsruhe, sendo representada apenas uma edificação. A tabela abaixo mostra os dados técnicos da imagem:

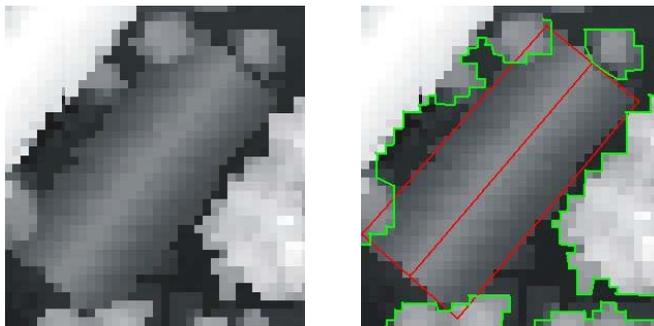
TABELA 1: Dados da imagem utilizada.

Dados da imagem laser	
Tamanho:	1 1 45 45
Pixeltype:	PIXEL16
Upper Left Point (Gauss-Krüeger):	3452000.0 5430000.0
Canal 1	first pulse 1997

Canal 2	first pulse 2002
Canal 3	last pulse 1998
Canal 4	last pulse 2002

Na figura 1 são mostradas a imagem original e também uma representação vetorial da edificação (em vermelho) e dos elementos a tridimensionais a serem retirados, tais como árvores (em verde).

FIGURA 1: Imagem laser original First Pulse 97/2000 e esquema interpretado.



4. METODOLOGIA

4.1 EXECUÇÃO DO VÔO SIMULADO:

As larguras das faixas de vôo são calculadas através da fórmula citada por Baltasvias, E.P., 1999. Essa fórmula considera a altura de vôo e o ângulo de abertura do sensor.

$$SW = 2h \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) \quad (1)$$

onde: h - altura de vôo;

θ - ângulo de abertura do sensor (FOV).

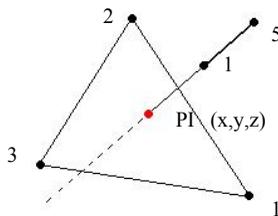
A partir do ponto mínimo (Xmin e Ymin) definido pelo usuário para a área de vôo, são calculadas as posições iniciais da aeronave para cada faixa e o comprimento da faixa. Para o deslocamento da aeronave, kappa (κ) foi tomado como a direção de vôo e os ângulos φ e ω variáveis, no entanto menores que $\pm 3^\circ$, o que mantém a condição de verticalidade. A atitude da aeronave é simulada com base em funções randômicas de φ e ω limitadas nesse intervalo. Também o acréscimo de um valor que simula o comportamento do vento durante o deslocamento da aeronave foi implementado. Isso desloca o centro do sensor tridimensionalmente. O objetivo

dessas duas implementações é criar uma distribuição irregular de pontos principalmente nas bordas das faixas.

4.2 INTERSEÇÃO:

Os pontos de interseção entre os sinais laser e os planos do modelo são calculados através da fórmula de interseção reta-plano (Eq. 2). A resolução das equações paramétricas para cada sensor em relação a cada plano do modelo permite calcular as coordenadas dos pontos de interseção, na figura abaixo PI.

FIGURA 2: Representação da interseção raio - plano no espaço.



$$\begin{vmatrix} x & y & z & 1 \\ x_1 & y_1 & z_1 & 1 \\ x_2 & y_2 & z_2 & 1 \\ x_3 & y_3 & z_3 & 1 \end{vmatrix} = 0 \quad (2)$$

Primeiramente é montada a equação paramétrica da reta no espaço entre a posição do avião e as coordenadas do sensor no plano de referência. Então é calculado o parâmetro de variação da reta avião-sensor que seja possível de encontrar uma interseção com o plano que contenha os pontos do modelo.

Como o plano é infinito por definição, foi necessário testar se o ponto se encontrava entre os pontos do triângulo formado pelos pontos da face tridimensional fornecida pelo modelo. Para isso foi usado um teste chamado de *Point in Polygon Test*. A seguir o próximo plano é avaliado e assim sucessivamente até que todos os planos tenham sido testados. O plano que tiver melhor resultado servirá de base para o cálculo das coordenadas *first pulse* (FP) e *last pulse* (LP).

4.4 CÁLCULO DE DAS COORDENADAS FIRST PULSE E LAST PULSE:

A partir do ponto de interseção de coordenadas X, Y e Z conhecidas, Baltasvias, E.P. 1999 propõe que se pode calcular o diâmetro da elipse baseando-se

na inclinação do plano e o ângulo instantâneo de escaneamento através da fórmula, abaixo:

$$A_L = \frac{2 \left[\cos(e) + \sin(e) \cdot \tan\left(e + \frac{\gamma}{2}\right) \right] \cdot h \cdot \sin\left(\frac{\gamma}{2}\right)}{\cos\left(\theta_{inst} - \frac{\gamma}{2}\right)} \quad (3)$$

onde: A_L = diâmetro do footprint;

$e = \theta_{inst} + i$, sendo i o ângulo de inclinação local do plano;

θ_{inst} = ângulo do elemento do sensor com a vertical do lugar;

h = altura de vôo – altura de refletância do sinal;

γ = abertura do elemento do sensor (1 mrad);

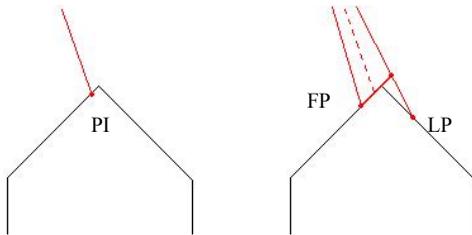
As determinações dos pontos distantes do centro da elipse são feitas adicionando-se metade do valor do eixo maior da elipse para as coordenadas first pulse e subtraído esse valor para as coordenadas last pulse corrigidos da orientação do plano. Esse procedimento foi desenvolvido de tal forma a possibilitar que os eixos da elipse do footprint fossem colocados paralelos as linhas do plano.

Tendo sido calculadas as coordenadas planimétricas dos pontos de primeira e última reflexão, foi usada a equação implícita do plano para se obter as alturas dos pontos. Essa equação indica que um ponto é pertencente a um plano definido por três pontos não colineares, se as coordenadas desse ponto satisfizerem a condição de determinante igual a zero (<http://mathworld.wolfram.com>).

$$\begin{vmatrix} x - x_0 & y - y_0 & z - z_0 \\ x_1 - x_0 & y_1 - y_0 & z_1 - z_0 \\ x_2 - x_0 & y_2 - y_0 & z_2 - z_0 \end{vmatrix} = 0 \quad (4)$$

Em caso afirmativo suas coordenadas são escritas no arquivo de saída. Em caso negativo, as coordenadas desse ponto são substituídas como sendo as coordenadas do sensor na equação da linha avião-sensor. O processo é repetido sem haver novo cálculo de *first ou last pulse*.

FIGURA 3: Definição first pulse e last pulse



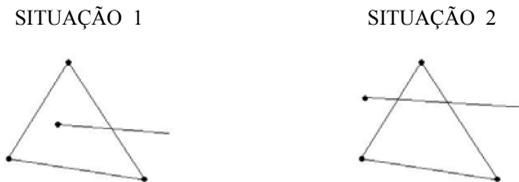
FP PI

4.5 POINT IN POLYGON TEST:

Este teste avalia se um ponto está dentro de um polígono através da contagem do número de interseções entre uma linha e os lados do polígono. A linha é criada entre o ponto a ser testado e um ponto no infinito e entre os vértices do polígono.

No caso de haver apenas uma interseção o ponto pertence ao plano e está dentro do triângulo. Para duas interseções é preciso avaliar se o ponto se encontra sobre uma das linhas do lado do triângulo, caso contrário o ponto de interseção não está entre os três pontos do plano do modelo.

FIGURA 4 : Representação do teste Point in Polygon test.



A condição de teste é que, se utilizamos os pontos extremos da reta para sua formulação, logo os parâmetros de variação devem estar entre 0 e 1. Se os parâmetros estiverem nesse limite, é necessário testar se o ponto está sobre a reta do lado avaliado do triângulo através da equação implícita da reta.

4.6 CLASSIFICAÇÃO E CONVERSÃO EM IMAGEM:

Tendo sido calculados os dados em coordenadas X, Y e Z para os dados *first* e *last pulse*, foi criada uma grade com 0,5m de espaçamento na área que compreende os pontos (*bounding box*). Dentro dos pixels é avaliada a existência ou não de pontos simulados. Se não houver valores, o pixel é mantido vazio. Se houver mais de um valor, o maior valor dos pontos simulados presentes é usado para as imagens *first pulse* e o menor é usado para imagens *last pulse*. Como resultado é criado um raster irregular. Após a criação desse raster, uma máscara de 25 elementos percorre

toda área da imagem avaliando os valores. Essa máscara considera pesos para a distância dos pixels em relação ao pixel central e usa o critério de mediana dos valores para o pixel central. Assim os oitos pixels vizinhos ao central recebem peso dois o que, nesse caso, significa ter o valor considerado duas vezes se houver valores. Os pixels externos recebem peso unitário, ou seja, eles são considerados uma única vez. No caso da mediana ser par é considerada a média aritmética dos valores imediatamente anterior e posterior a posição da mediana.

5. RESULTADOS OBTIDOS

Os resultados aqui apresentados foram executados utilizando-se o modelo CAD em arquivo DXF proveniente de dados laser scanning *first pulse* 1997. Os parâmetros fornecidos ao sistema foram:

TABELA 2 : Coordenadas da área de teste.

Parâmetros de Teste (coordenadas Gaus-Krüger em m)	
Xmin	56800
Ymin	30300
Xmax	57400
Ymax	30800
Direção de voo (κ)	0° (Azimute 90°)
Velocidade da aeronave	80 m/s
Angulo de abertura do sensor	14,4°
Abertura do elemento do sensor	1mrad
Altura de voo	850 m

Os resultados foram convertidos em imagens e comparados com as imagens originais de *first pulse* e *last pulse* em três épocas diferentes 1997, 1998 e 2002.

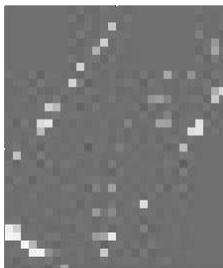
5.1. RESULTADOS PARA *FIRST PULSE* (FP) 1997:

IMAGEM ORIGINAL –
SIMULADA



Média: 8,10 cm

IMAGEM DIFERENÇAS



Desvio Padrão: 50,75 cm

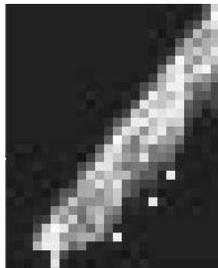
5.2. RESULTADOS PARA *LAST PULSE* (LP) 1998:

IMAGEM ORIGINAL –
SIMULADA



Média: 6,13 cm

IMAGEM DIFERENÇAS



Desvio Padrão: 18,81 cm

6. ANÁLISES:

O modelo CAD usado para simulação foi criado sobre os dados laser *first pulse* de 1997. Nessas imagens pode-se perceber que as diferenças maiores aparecem justamente próximas às linhas de quebra do telhado. Isso se deve porque próximo às bordas dos objetos, pode ocorrer indeterminações do valor da altura em relação ao centro do sinal devido ao ângulo de observação. O ângulo de observação é um fator importante, pois em alguns casos, pode haver apenas uma reflexão sobre o modelo enquanto a outra pode estar fora do modelo

O modelo é uma simplificação da realidade obtida a partir dos dados do modelo de elevação do laser. Neste processo algumas simplificações foram introduzidas para representar a forma do objeto. Entre elas, as bordas dos prédios são aproximadas por segmentos retos, algo que não é verificado nos dados laser, pois são representados por pixels. Os telhados por sua vez são representados por planos, e estes planos aproximados definidos matematicamente têm diferenças em relação aos dados do laser que são valores discretos. Então, existe diferença entre o modelo e os dados originais, e esta diferença mesmo pequena, esta presente nos dados simulados, pois estes são gerados a partir do modelo CAD.

Outros testes devem ser executados com outros parâmetros e outros modelos de edificações. Também a comparação dos resultados com as informações dos modelos de elevações referentes à época correta e um estudo mais aprofundado do comportamento dos dados próximos a linhas de quebra para se identificar se essas diferenças são criadas durante o processo de extração do modelo são necessários. As maiores diferenças ocorrem nas bordas. Isso já era esperado, pois mesmo o sistema real tem dificuldade na definição desses pontos.

7. BIBLIOGRAFIA

BÄHR, H.-P.; CENTENO, J.; COELHO, A.; HANSEN, W.; KIEMA, J.; LOHR, U.; STEINLE, E.; VÖGTLE, T.; 2001, **Aerolevantamento Com Laserscanning: Resultados Da Cooperação Toposys E Universidade De Karlsruhe/Alemanha**. XX Congresso Brasileiro de Cartografia, 2001.

BALTSAVIAS, E.P. 1999. **Airborne Laser Scanning: Basic Relations and Formulas**, ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing 54 :199–214

BALTSAVIAS, E.P. 1999, **Airborne Laser Scanning: Existing Systems And Firms and Other Resources**. ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing 54 164–198

CENTENO J. S., STEINLE E., VÖGTLE T., 2000, **Análise De Modelos Numéricos de Elevação Derivados De Laser Scanner Para O Monitoramento Urbano**. COBRAC 2000 · Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário · UFSC Florianópolis.

CROMBAGHS, M.; BRÜGELMANN, R.; DE MIN, E., 2000, **On the adjustment of overlapping strips of laseraltimeter height data**. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing 33 Part 3B: 678-684.

LÖHR U., EIBERT M., 1999 , **The Toposys Laser Scanner-System**. <http://www.ifp.uni.stuttgart.de/publications/phowo/lohr.pdf>

MAAS, H. G. 2002, **Methods for Measuring Height and Planimetry Discrepancies in Airbone Laserscanner Data**. Photogrammetric & Remote Sensing Vol. 68, Nº 9, September 2002, 933-940

STEINLE E., KIEMA J., LEEBMANN J, BÄHR H.P, **Laserscanning For Analysis Of Damages Caused By Earthquake Hazards**. Institute for Photogrammetry and Remote Sensing (IPF), University of Karlsruhe(TH)

STEINLE E. & VÖGTLE T., 2000, **Automated Extraction And Reconstruction Of Buildings in Laserscanning Data For Disaster Management**. Institute for Photogrammetry and Remote Sensing, University of Karlsruhe (TH), Karlsruhe, Germany.

STEINLE E., VÖGTLE T. **Effects Of Different Laser Scanning Modes On The Results Of Building Recognition And Reconstruction**. University of Karlsruhe (TH), Germany. Institute of Photogrammetry and Remote Sensing

SCHENK, T, 2001, **Modeling And Recovering Systematic Errors In Airborne Laser Scanners**

<http://mathworld.wolfram.com>

TOPOSYS GmbH. Disponível em <http://toposys.com> . Acessado em 21/12/2002

MODELAGEM MATEMÁTICA DAS DEFORMAÇÕES GEOMÉTRICAS DE UM *DESKTOP SCANNER* VISANDO SEU USO NA FOTOGRAMETRIA

Edie Andrecto Junior¹
Prof. Dr. Edson A. Mitishita²
Prof. Dra. Cláudia Robbi Sluter³

- 1 Universidade Federal do Paraná – ediejr@terra.com.br
- 2 Universidade Federal do Paraná – mitishit@geoc.ufpr.br
- 3 Universidade Federal do Paraná – robbi@geoc.ufpr.br

RESUMO

Este trabalho trata da calibração geométrica de *desktop scanners* e sua aplicação em Fotogrametria. Foram testadas metodologias no intuito de parametrizar as distorções geométricas causadas pelo sistema óptico-mecânico do equipamento no processo de conversão de imagens analógicas em digitais. Verificou-se a influência de tais distorções na orientação interior e exterior de aerofotos. O estudo apresenta dois métodos de correção de todas as foto-coordenadas das imagens digitalizadas e um método para geração de imagens geometricamente corrigidas. O equipamento estudado é um EPSON 1640XL, com resolução de hardware de 1600 dpi, utilizando uma placa de calibração de um estéreo – restituidor WILD A10.

Palavras-chave: Fotogrametria; *Desktop Scanners*; Calibração Geométrica

ABSTRACT

This work presents some results about desktop scanner geometric calibration and its application to Photogrammetry. Some methodologies were tested in order to set parameters for geometric distortions caused by analogue to digital image conversion process. This influence of this distortions in the interior and exterior orientation of aerial photographs was verified. This study presents two methods for correcting every photo-coordinates of the scanned image and one method for generating geometrically corrected image. The device studied is an Epson 1640XL, with 1600 dpi hardware resolution, using a WILD A-10 stereo-plotter calibration glass plate.

Keywords: Photogrammetry; Desktop Scanners; Geometric Calibration

1 INTRODUÇÃO

Este estudo trata da modelagem de distorções geométricas de um *desktop scanner* EPSON 1640 XL (não fotogramétrico) com resolução de 1600 dpi. Para a realização dos trabalhos, será utilizada uma placa de calibração de um estéreo restituidor WILD A-10, que possui um *grid* com coordenadas de suas interseções de elevada precisão ($\pm 6\mu\text{m}$ em x e $\pm 8\mu\text{m}$ em y).

A fotogrametria digital realizada por meio de conversão de imagens analógicas procedentes de câmaras métricas analógicas é uma atividade de relevada importância na cartografia nacional. Devido ao elevado custo das câmeras digitais, não seria exagero dizer que praticamente todos os aerolevantamentos nacionais as utilizam. Para se realizar esta atividade torna-se necessária a utilização de dispositivos que façam tal conversão.

Os dispositivos capazes de converter imagens analógicas em digitais, denominados *scanners*, introduzem novas deformações na imagem, além daquelas provenientes do processo aero-fotográfico. Estas últimas já possuem um conjunto de conhecidos métodos de correção, que utiliza parâmetros de calibração de câmeras, equações e transformações para correção de deformações do filme, distorções radiais simétricas, descentradas e refração atmosférica.

No caso desta digitalização ser realizada por *scanners* fotogramétricos, as novas deformações introduzidas na imagem são desprezíveis para a maioria das aplicações. Em geral tais deformações são menores que a própria resolução geométrica da imagem.

No entanto, poucos *scanners* fotogramétricos no Brasil, podendo-se citar um LEICA/HELAVA DSW 100 da Esteio Aerolevantamentos S.A., um RASTER MASTER RM1 do consórcio Engefoto/ Aerosul /Aeroimagem, um ZEISS SCAI da Base Aerofotogrametria e Projetos S.A., um ULTRA SCAN 5000 da Alesi Teodolini e outro ZEISS SCAI pertencente à Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) em Florianópolis. A escassez deste tipo de equipamento no país torna sua utilização e acesso caros.

Por ser uma alternativa de baixo custo, se comparado ao preço de um fotogramétrico, os *desktop scanners* ou DTP de grande formato (A3 ou maior) despertam especial interesse. Além disto, a quantidade deste tipo de equipamento no mercado brasileiro é bem maior que a de fotogramétricos e os preços de digitalização por foto e acesso (locação) são baixos.

As novas deformações introduzidas pelo processo de digitalização matricial são pouco discutidas e menos ainda tratadas. Este trabalho representa uma tentativa de

contribuir na sistematização de procedimentos de calibração de *desktop scanners*. Por isso, em todas as etapas buscou-se a máxima generalidade, para que o processo não se aplique somente ao aparelho em estudo, mas a qualquer DTP.

Esta calibração pode ser radiométrica, geométrica ou ambas. Neste estudo é abordada a geométrica e consiste na determinação de um modelo matemático bem como seus parâmetros para depuração dos erros geométricos sistemáticos provenientes do sistema óptico-mecânico. Tal modelo e parâmetros podem viabilizar a utilização destes dispositivos para a fotogrametria digital, que é a finalidade deste estudo.

2 CONCEITOS FUNDAMENTAIS

A calibração geométrica de *desktop scanners* possui poucos trabalhos publicados, se comparada com outros assuntos relacionados à fotogrametria. Pode-se dizer que Emmanuel P. Baltsavias é o autor com maior quantidade de trabalhos publicados sobre o tema. Consta a seguir, uma relação de conceitos fundamentais à compreensão desta atividade.

2.1 DEFORMAÇÕES GEOMÉTRICAS OCASIONADAS POR *DESKTOP SCANNERS*

No grupo dos *desktop scanners* os *flatbeds* são os que têm maior destaque. Possuem em geral resoluções acima de 1200dpi, que implica em um pixel de $21\mu\text{m}$ ou menor. Sua precisão e acurácia radiométrica e velocidade de digitalização são em alguns casos superiores à dos fotogramétricos. Sua qualidade tem aumentado enquanto seu preço diminui (especialmente para os de formato A4). As grandes distorções geométricas e instabilidades, causadas pelas imprecisões de posicionamento mecânico e baixa qualidade de lentes, são as desvantagens do uso destes equipamentos (BALTSAVIAS e WAEGLI, 1996).

O mesmo autor, utilizando uma transformação afim no plano, encontrou os valores de distorções geométricas relacionados no quadro 1, para cinco equipamentos testados em 1996 no *Institute of Geodesy and Photogrametry* em Zurique.

Os erros na direção da linha de sensores (x) têm valores maiores do que os na direção (y). Isto evidencia o fato já mencionado dos conjuntos de lentes utilizados neste tipo de dispositivo ser de baixa qualidade (BALTSAVIAS e CROSSETO, 1996).

2.2 PADRÕES DE CALIBRAÇÃO DE *SCANNERS*

Os padrões de calibração de *scanners*, de um modo geral, são divididos em duas

QUADRO 1 - ERROS GEOMÉTRICOS EM DIVERSOS DTP

Scanner	pontos de controle / verificação	RMS(μ m)		Média(μ m)		Máx. absoluto(μ m)	
		x	y	x	y	x	y
Horizon	4/621	146	71	-5	-26	224	151
	8/617	147	67	-4	-13	223	139
	625/0	92	54	0	0	220	159
JX-610	4/621	106	51	67	-39	214	117
	8/617	91	42	45	-26	182	105
	625/0	56	29	0	0	182	91
Mirage D 16L	4/621	35	20	24	-4	73	56
	8/617	32	20	20	-7	67	54
	625/0	18	19	0	0	56	51
ArcusII	4/521	85	81	51	-69	199	151
	8/517	76	62	36	-46	180	129
	525/0	63	41	0	0	216	122
Power- Look	4/546	101	112	-66	103	181	177
	8/542	87	77	-45	65	158	138
	550/0	52	43	0	0	185	114

FONTE: BALTSAVIAS e WAEGLI,1996

grandes classes. Os padrões relacionados a estas classes são agrupados por preços. A primeira é a de padrões abaixo de Sfr. 1.000,00 (mil francos suíços) e a segunda grupo de Sfr. 3.000,00 a Sfr. 10.000,00 (BALTSAVIAS, 1994a). Para estabelecimento da clareza, o grupo mais econômico é aqui denominado primeiro grupo e o mais dispendioso segundo grupo.

2.2.1 Primeiro Grupo de Padrões de Calibração de *Scanners*

No primeiro grupo de padrões de calibração de *sanners* agrupam-se equipamentos de calibração radiométrica e as alternativas geométricas de baixo custo. Os padrões de nível de cinza consistem em escalas transparentes ou opacas, com variações de densidade de 0 a 1,8D em passos de 0,5D (KODAK SR37 – opaca) até 0 a 3,4D em passos de 0,1D (KODAK ST34 – transparente). Podem ainda ser produzidas em laboratório fotográfico, com os níveis de cinza medidos através de microdensitômetros (MILLER e DAM,1994).

As formas fundamentais de aplicações fotogramétricas são as linhas e pontos. Portanto, sua reprodução deve ser verificada por digitalização de tais formas em tamanhos variados (BALTSAVIAS, 1994a). Para realização deste teste, são necessários alvos como os produzidos pela Heidenhain (Dr. Johannes Heidenhain, Traunreut, Alemanha).

Filmes aéreos de alta resolução pancromáticos ou coloridos servem tanto para calibração geométrica quanto radiométrica. No caso de calibração geométrica, pode-se fotografar um campo de teste, como por exemplo uma parede com alvos

facilmente identificáveis e determinar suas coordenadas em um restituidor. Após a obtenção de tais coordenadas, pode-se digitalizar o quadro do filme e então verificar numa transformação ortogonal os resíduos provenientes dos erros geométricos do *scanner*. Para testes de resolução e acurácia radiométrica, pode-se utilizar variações de níveis de cinza de média a alta, simulando situações de difícil operação do aparelho. (BALTSAVIAS, 1994a). Esta alternativa, apesar de menos dispendiosa, traz desvantagens nos quesitos de precisão e acurácia dos resultados, principalmente na calibração geométrica.

2.2.2 Segundo Grupo de Padrões Calibração de *Scanners*

Neste grupo, são relacionados os mais precisos e também mais dispendiosos padrões de calibração geométrica de *scanners*, as placas de *grid*. São, na maioria, confeccionadas em cristal, possuindo um reticulado com espessura de 20 μ m a 40 μ m e com espaçamento de 10 a 20 mm.

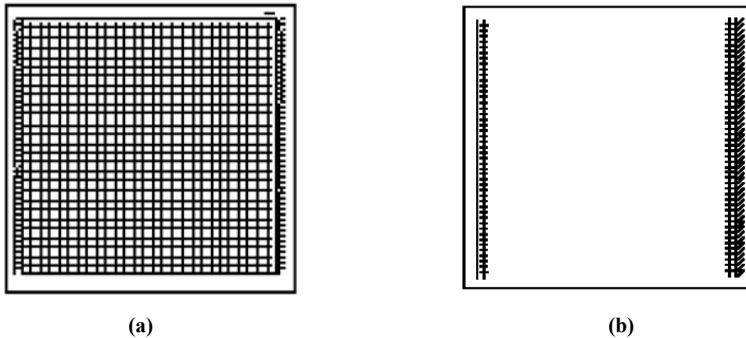
Os testes de calibração geométrica com placas de *grid* de cristal destinam-se à verificação da acurácia e precisão geométrica da imagem gerada pelo *scanner*. Algumas observações com relação às características da placa de *grid* a ser utilizada são importantes. Suas dimensões não devem exceder 25 x 25 cm, que é o tamanho máximo de *scanners* para filmes aéreos. Devem ser deixadas livres bordas de aproximadamente 1cm, pois as linhas dos extremos podem não ter acurácia suficiente. A densidade de pontos de controle e a forma dos alvos são também aspectos importantes (BALTSAVIAS, 1994a).

A figura 1 (a) ilustra uma placa de *grid off-line* e a figura 1 (b) uma placa de *grid on-line*. As placas de *grid off-line* são utilizadas na modelagem de erros de variação lenta (distorção pelo sistema de lentes). Possuem em cada interseção um quadrado branco para medir-se suas coordenadas.

As placas de *grid on-line* são utilizadas na modelagem de erros de variação freqüente (posicionamento mecânico). O uso deste tipo de *grid* é opcional e pode ser substituído por termos de segunda ordem no modelo matemático. Porém o modelo de correção será mais exigente em termos de processamento (BALTSAVIAS e WAEGLI, 1996).

3 METODOLOGIA

O procedimento adotado neste estudo é dividido em três etapas. A primeira é a determinação das deformações no EPSON 1640 XL. A segunda é a parametrização. A terceira é a de verificação da metodologia proposta.

FIGURA 1 – PLACAS DE *GRID* PARA CALIBRAÇÃO DE SCANNERS

FONTE: BALSAVIAS 1994a

3.1 DETERMINAÇÃO DAS DEFORMAÇÕES NO EPSON 1640 XL

As imagens para fins de modelagem foram tomadas em aproximadamente uma mesma posição, em níveis de cinza e com resolução de 1600 dpi (para que a imagem não contenha falhas de algoritmos de duplicação de *pixels*). Esta simplificação não difere da condição normal de operação, pois na digitalização de diapositivos ou filmes é perfeitamente possível posicionar-se de forma adequada o objeto a ser digitalizado. Além disso, na fase de modelagem, tal procedimento facilita a análise da manutenção e periodicidade de alteração dos erros sistemáticos. O equipamento possui duas réguas, uma transversal paralela à *scanline* e outra longitudinal paralela a direção da digitalização. A figura 2 mostra o posicionamento definido.

Para certificação da validade dos procedimentos adotados, procedeu-se a verificação das distorções provocadas pela digitalização em um scanner fotogramétrico RM1. Apesar da área de digitalização ser de 260 x 260mm, o aparelho não consegue capturar imagens deste tamanho. A área efetiva é de pouco mais de 230 x 230 mm. Isto faz com que não se possa digitalizar a placa de calibração utilizada neste trabalho (250 x 250mm) integralmente.

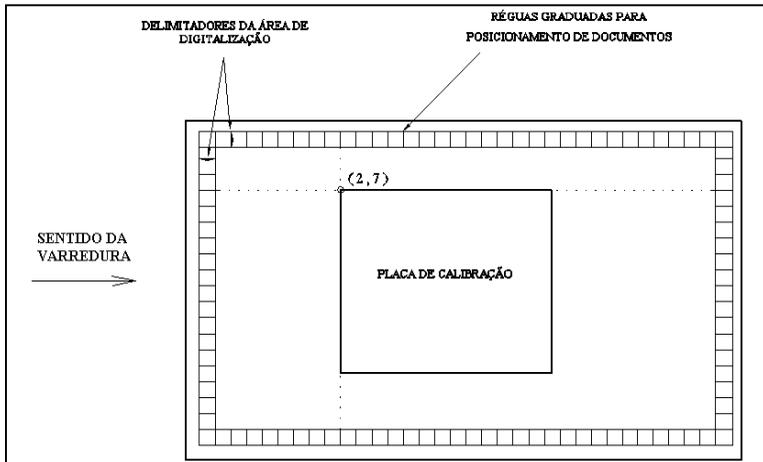
Conseqüentemente, no RM1 os pontos extremos do *grid* não foram capturados. Este fato não invalidou o teste, pois a quantidade de pontos remanescentes é grande e possibilitou elevado número de graus de liberdade na solução por mínimos quadrados. Foi tomada uma imagem com *pixel* de 24 μ m, a qual teve suas deformações analisadas.

3.2 PARAMETRIZAÇÃO

Neste trabalho, são estabelecidas duas grandes classes de parametrização: a

parametrização com *grid on line* e com *grid off line*. Estas duas classes, por sua vez, foram subdivididas em: com observações na imagem deformada usando *grid on line* e *off line* e com reamostragem para correção usando somente *grid on line*.

FIGURA 2 – POSIÇÃO DE TOMADA DAS IMAGENS



3.2.1 *Grid on line*

A parametrização com *grid on line* consiste na utilização do *grid* como apoio. Este é digitalizado juntamente com o negativo ou diapositivo, permitindo a existência de pontos de controle na imagem para a obtenção de parâmetros do modelo matemático utilizado para correção.

Em um primeiro teste os 165 pontos do *grid* tiveram suas coordenadas observadas com o uso do foto-editor ADOBE PHOTOSHOP 6.0. Feitas as leituras, estas coordenadas passam por um primeiro ajustamento para detecção de erros grosseiros.

Este primeiro ajustamento é realizado utilizando-se o modelo matemático da transformação ortogonal. Dado o fato de conhecer-se através de dez imagens observadas o comportamento espacial das deformações (erros geométricos), é possível pela plotagem dos resíduos do modelo ortogonal em um gráfico de resultantes, detectar-se os erros grosseiros. As observações eivadas de erros grosseiros terão o seu vetor resultante em discrepância do comportamento padrão. É usado ainda o gráfico de variáveis, que permite verificar se as observações estão dentro dos limites de controle.

Detectado o erro, o ponto tem suas coordenadas novamente observadas e um novo ajustamento é realizado. Desta maneira as observações são depuradas dos erros grosseiros, restando somente os erros sistemáticos. Estes últimos são corrigidos com a aplicação do modelo matemático utilizando-se os parâmetros de correção. Estes parâmetros são provenientes de um novo ajustamento pelo método paramétrico utilizando-se como modelo matemático uma relação geométrica capaz de propiciar resíduos mínimos.

3.2.1.1 *Grid on line* com observações na imagem deformada

Esta parametrização tem duas finalidades. A primeira como o nome sugere, é de fornecer parâmetros para o uso da imagem deformada. As observações realizadas na imagem deformada são utilizadas para fins fotogramétricos (orientação interior e exterior) após serem depuradas dos erros geométricos provocados pelo scanner.

Como a finalidade desta etapa é a determinação de parâmetros para relacionar o *grid* (considerado isento de erros) à imagem (eivada de erros sistemáticos) e para propiciar facilidade computacional, foi feita uma simplificação. Sabendo-se que a relação geométrica neste caso deve ser tal que:

$$\left| X_{gr} Y_{gr} \right|^T = f(X_{im}, Y_{im}) \quad (1)$$

onde:

$\left| X_{gr} Y_{gr} \right|^T$ = coordenadas observadas na imagem convertidas para o referencial do *grid*;

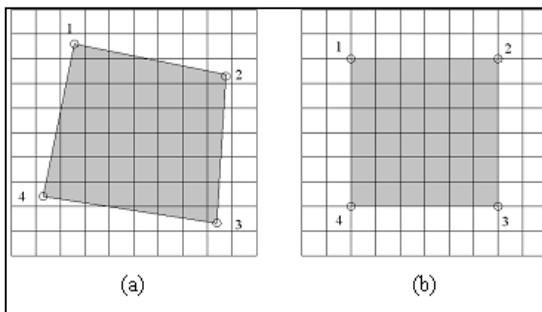
$f(X_{im}, Y_{im})$ = modelo matemático de correção;

é realizado o ajustamento considerando as coordenadas dos pontos no referencial do *grid* como observações (vetor Lb) e as coordenadas dos mesmos pontos na imagem como ponto de definição das derivadas parciais da matriz desenho (valores atribuídos às coordenadas x e y na matriz “ A ”). Este procedimento possibilita não somente o uso das coordenadas da imagem deformada como também torna possível o cálculo das dimensões da imagem corrigida que será vista no item a seguir.

3.2.1.2 *Grid on line* com reamostragem para correção

Para a realização da reamostragem com correção, como em toda reamostragem, é necessário saber-se quais as dimensões da nova imagem a ser gerada. Considerando-se que o *grid* é o referencial de apoio, as equações (1) permitem determinar as posições dos pontos da imagem corrigida na imagem deformada. Apesar de serem valores que provavelmente estarão fora dos limites da imagem original, permitem a determinação das dimensões da imagem corrigida, aplicando-se as mesmas aos pixels extremos da imagem. A figura 3 ilustra tal procedimento.

FIGURA 3 –ESQUEMA DA REAMOSTRAGEM COM CORREÇÃO



Seja a figura 3(a) a imagem original, com os erros geométricos e a figura 3(b) a imagem corrigida. O ponto 3 de (b) está interno ao espaço (a). Entretanto os pontos 1, 2 e 4 estão fora do espaço (a), implicando em coordenadas que não possuem em suas posições qualquer informação. Porém permitem-nos calcular as dimensões da nova imagem da forma:

$$X_{\min} = \min[X_{gr}] \quad (2)$$

$$X_{\max} = \max[X_{gr}] \quad (3)$$

$$Y_{\min} = \min[Y_{gr}] \quad (4)$$

$$Y_{\max} = \max[Y_{gr}] \quad (5)$$

$$\Delta_X = X_{\max} - X_{\min} \quad (6)$$

$$\Delta_Y = Y_{\max} - Y_{\min} \quad (7)$$

Sendo:

X_{gr} = vetor contendo as quatro coordenadas x dos quatro pontos extremos transformados referencial de placa;

Y_{gr} = vetor contendo as quatro coordenadas y dos quatro pontos extremos transformados referencial de placa;

Δ_X = dimensão na direção x da imagem corrigida;

Δ_Y = dimensão na direção y da imagem corrigida;

X_{min} = coordenada x da origem do referencial (b) no referencial (a);

Y_{min} = coordenada y da origem do referencial (b) no referencial (a).

Definidas as dimensões da imagem corrigida, é feito um novo ajustamento agora com o modelo assumindo a forma:

$$\begin{vmatrix} X_{im} & Y_{im} \end{vmatrix}^T = f(X_{gr}, Y_{gr}) \quad (8)$$

Desta vez, as coordenadas observadas na imagem propiciam os valores do vetor das observações (Lb) e as coordenadas do *grid*, os pontos de definição das derivadas parciais da matriz “ A ”.

As observações são tratadas como não correlacionadas e a matriz dos pesos identidade. Como não é necessário estimar a precisão dos parâmetros calculados, mas sim determiná-los, este procedimento não traz perdas e ainda tem a vantagem de simplificar o processo.

Ainda discutindo a hipótese de adoção de um único modelo, com inversão da matriz dos parâmetros, o mesmo traria inconvenientes à programação computacional. Isto se deve ao fato da matriz dos parâmetros em alguns modelos (polinômios de 3º grau, por exemplo) não admitir inversa ordinária. A solução então seria o algoritmo da pseudo-inversa aplicado a cada *pixel* da imagem corrigida. Conseqüentemente em uma aerofoto com resolução de 1600 dpi seriam calculadas aproximadamente 240 milhões de pseudo-inversas. Fica óbvio então, devido ao tempo de processamento, a desvantagem de adotar-se tal solução.

Para fins de notação, as equações (1) são denominadas “modelo direto” e tem função de relacionar os pontos da figura 3(a) com os da 3(b). Este procedimento consiste em calcular as dimensões da imagem corrigida. As equações (8) denominadas de “modelo inverso” relacionam pontos de 3(b) com os de 3(a). Neste caso o cálculo é da posição dos *pixels* que contém os níveis de cinza na imagem deformada para preenchimento de seus correspondentes na imagem corrigida.

3.2.2 *Grid Off Line*

A diferenciação deste método em relação ao *grid on line* consiste no

procedimento de tomada das imagens e de obtenção de parâmetros. Imagens do *grid* com dimensões de 25 x 25 cm são tomadas para parametrização. Este tamanho de janela de seleção é mantido nas imagens subsequentes, nas quais aerofotos serão digitalizadas.

Uma vez obtidos os parâmetros, estes são aplicados nos procedimentos de utilização da imagem deformada ou na geração de uma imagem corrigida. A vantagem deste método consiste na geração da imagem sem a presença do *grid*. No caso de geração de ortofotos, se for possível sua aplicação, pode ser vantajoso.

Entretanto a precisão tende em geral a ser menor, pois os erros em y podem variar. Isto pode ocorrer, por exemplo, por desgaste mecânico ou variações de tensão. A condição ideal seria de uma calibração anterior a cada sessão de trabalho.

Os resíduos procedentes da transformação ortogonal são considerados valores a serem ajustados (vetor Lb). No caso de uso da imagem deformada, os valores que constituem os pontos de definição das derivadas parciais são do *grid* digitalizado. Então os parâmetros são calculados pela forma:

$$\begin{bmatrix} D_x \\ D_y \end{bmatrix} = f(\bar{X}_{imagem}, \bar{Y}_{imagem}) \quad (9)$$

onde:

$\begin{vmatrix} D_x & D_y \end{vmatrix}^T$ = deformações (resíduos) provenientes do ajustamento da transformação ortogonal;

$\begin{vmatrix} \bar{X}_{imagem}, \bar{Y}_{imagem} \end{vmatrix}^T$ = média das coordenadas observadas nas imagens.

O uso de coordenadas de pontos transladadas e rotacionadas é necessário e justifica-se pelo fato de tais diferenças não consistirem em erros geométricos. Estas diferenças são referentes a pequenos deslocamentos e imprecisão do posicionamento do *grid* sobre a plataforma de digitalização do *scanner* no momento da tomada das imagens.

Uma vez obtidos os parâmetros do modelo matemático de correção, este pode agir sobre as coordenadas observadas na imagem. Desta forma, qualquer ponto na imagem deformada que tenha suas coordenadas observadas pode ter sua correção calculada através da equação (9) e ser posteriormente corrigida. Esta correção é dada pela soma do valor encontrado pela equação (9) às coordenadas dos pontos, pela forma:

$$\begin{vmatrix} X_{\text{corrigido}} \\ Y_{\text{corrigido}} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} X_{\text{observado}} \\ Y_{\text{observado}} \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} D_x \\ D_y \end{vmatrix} \quad (74)$$

Os testes de *grid off line* ainda tiveram outra função nesta pesquisa. Os valores das médias das imagens tomadas, bem como das médias dos resíduos possibilitaram a análise da capacidade de parametrização dos diferentes modelos matemáticos testados.

3.3 MODELOS MATEMÁTICOS

A modelagem pode ser local ou global. Neste estudo, o primeiro experimento foi feito com o ajustamento da transformação afin, considerando unidades de modelagem denominadas “células”, que são sub-conjuntos de pontos do *grid*. Este tipo de modelagem é classificada como local, sendo adequado o seu uso em situações de deformações que apresentem comportamento regionalizado.

Uma outra alternativa é a modelagem global. Nos modelos globais, todos os pontos pertencentes ao *grid* formam um único conjunto a ser ajustado. Para trabalhos com observações realizadas sobre a imagem deformada, com correção das coordenadas *a posteriori*, como dito anteriormente, modelos locais são teoricamente os mais eficientes. Entretanto, caso haja necessidade de correção geométrica da imagem, os modelos globais além de serem de implementação mais simples, apresentam resultados melhores. Constatou-se na tentativa de reamostragem de modelos globais, para o equipamento em estudo, que não ocorrem problemas de quebras e marcas na imagem, no caso deste *desktop scanner*.

3.4 VERIFICAÇÕES DA METODOLOGIA PROPOSTA

As verificações foram realizadas considerando-se aspectos diferentes dos propostos pelos autores consultados. Nesta pesquisa, optou-se por analisar o efeito da parametrização através da verificação da eficiência da modelagem e posteriormente da aplicabilidade da metodologia proposta. Desta forma, é possível quantificar a influência da modelagem nos resultados da atividade fim (resseção espacial no caso deste estudo).

3.4.1 Verificação da Eficiência da Modelagem

Nesta etapa, a capacidade de modelagem é avaliada. Os modelos matemáticos são utilizados em um ajustamento por *grid off line* (vetor *Lb* composto pela média dos resíduos da transformação ortogonal e a média das coordenadas observadas na imagem como ponto de definição das derivadas parciais da matriz desenho).

Segundo BALTSAVIAS (1994a), a acurácia resultante da calibração deve ser avaliada por uma transformação afim ou conforme (isogonal). Esta deve ser realizada utilizando-se quatro pontos do *grid* como controle e os demais, após transformados com os parâmetros obtidos, como verificação. Entretanto os resíduos do ajustamento para modelagem (vetor V), são quantidades correspondentes à parcela do erro que os parâmetros não são capazes de eliminar. Desta forma a realização de um novo ajustamento para verificação da eficiência de modelagem é dispensável e inócua.

A verificação no caso desta pesquisa foi feita com a análise dos gráficos de resultantes dos resíduos e de variáveis (média entre x e y de cada ponto). Dos modelos testados, aqueles (ou aquele) que apresentar eliminação da característica sistemática dos resíduos e os pontos com qualidade posicional dentro dos limites especificados é considerado adequado.

3.4.2 Verificação da Aplicabilidade

Na verificação da aplicabilidade foi analisado o efeito que as correções pela metodologia proposta têm nos resultados finais de uma resseção espacial. Esta constatação é possível pela comparação de resultados de ajustamentos simultâneos de fotos sem a aplicação do modelo de correção com os de aerofotos corrigidas.

Para um comparativo, foi realizada a orientação exterior de um par de aerofotos, neste caso, observadas no estéreo restituidor analítico PLANICOMP C100. Adotou-se então estes valores como verdadeiros.

Ainda com o objetivo de comparar as acurácias e precisões obtidas, foi realizada a orientação exterior deste par de aerofotos, que são do campo de calibração de câmeras aéreas de São Luís do Purunã de um vôo de 1994 com uma câmera WILD RC 10 de quatro fiduciais, digitalizadas em um *scanner* fotogramétrico VEXCEL UMAX 5000, pertencente à empresa UNIVERSAL. Estas mesmas fotos, digitalizadas pelo equipamento em estudo, também tiveram seus parâmetros calculados.

Realizou-se ainda o teste de orientação exterior de três aerofotos de um vôo recente (2002) do campo de calibração de câmeras aéreas. Neste caso a câmera é uma ZEISS LMK YENA com oito fiduciais. Este teste possibilitou a verificação da influência de modelos matemáticos utilizados na orientação interior das aerofotos bem como a possibilidade destes corrigirem as distorções do EPSON na orientação interior (sem aplicação do modelo de correção).

O máximo erro planialtimétrico admissível foi estabelecido tomando-se por base a precisão como função da escala das aerofotos e do máximo erro tolerável em um sistema analítico. Neste caso, pode-se seguramente adotar o valor de 0,050mm na escala da foto (MITISHITA, 1997, p. 240). O padrão de digitalização praticado pelas empresas de aerolevantamento no Brasil, atualmente é de um *pixel* de 20 μ m ou 0,020mm. Então, para efeito desta verificação, considerou-se admissível o erro de

até 2 *pixels* no padrão de digitalização. Isto equivale a 0,040mm na escala da foto. Conseqüentemente, para aerofotos na escala 1:12.000 tem-se um erro máximo tolerável de 0,48m.

Para adoção de uma escala de restituição usual em vôos 1:12000, que neste estudo foi de 1:5000, pelo P.E.C. (Padrão de Exatidão Cartográfica), seriam admissíveis erros padrão de 1,5m para a planimetria e 0,7m na altimetria em cartas classe “A”. Pode-se constatar que o máximo erro planialtimétrico admissível adotado neste estudo é mais rigoroso que os padrões encontrados na literatura. Este maior rigor justifica-se pelo fato da aerotriangulação e restituição serem etapas intermediárias no processo de produção cartográfica, o qual introduzirá erros de outras causas (processos de edição, impressão, etc.). Desta forma, este maior rigor nos processos fotogramétricos possibilita margens, para que o total destes erros não comprometa a qualidade e acurácia posicional final das cartas ou ortofotos geradas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 DETERMINAÇÃO DAS DEFORMAÇÕES PROVOCADAS PELO EPSON 1640 XL

Foram tomadas imagens, em conjunto de duas a duas, com intervalo de cinco minutos entre uma tomada e outra. Neste intervalo, após tomada primeira imagem, o *scanner* é desligado. Isto possibilita o retorno dos dispositivos óptico-mecânicos.

A periodicidade para os pares de imagens foi semanal, mensal e quadrimestral. O gráfico 1 apresenta as resultantes da primeira imagem tomada e o gráfico 2 da última.

O quadro 2 apresenta valores estatísticos dos testes realizados. São tabulados sob a forma de erro médio quadrático nos eixos x e y (m_x, m_y), valores médios dos resíduos considerados como erros verdadeiros (E) e valores máximos dos resíduos nos já referidos eixos.

Os valores apresentados sintetizam 1650 observações realizadas (cento e sessenta e cinco por imagem). Cada observação no modelo ortogonal no plano dá origem a duas equações. O modelo possui 3 parâmetros. São totalizadas então 3300 equações, solucionadas em dez grupos de 330. Estes números atestam grande repetibilidade e elevado número de graus de liberdade (327 por imagem). Os valores permitem afirmar que o dispositivo possui estabilidade geométrica. Apesar de elevados valores de deformações, estes apresentam repetibilidade constante e manutenção dos padrões de comportamento espacial.

GRÁFICO 1 – RESULTANTES DA IMAGEM 1 TOMADA EM 05/04/2002

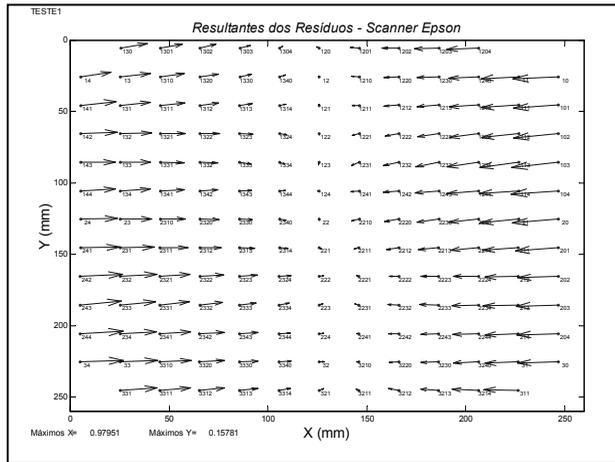
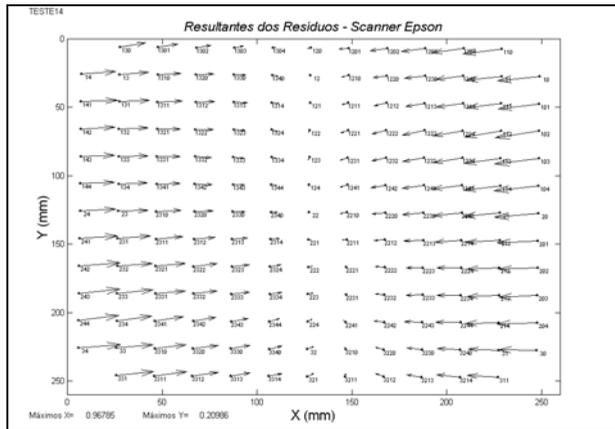


GRÁFICO 2– RESULTANTES DA IMAGEM 14 TOMADA EM 09/09/2002



4.2 DISTORÇÕES PROVOCADAS PELO RM1

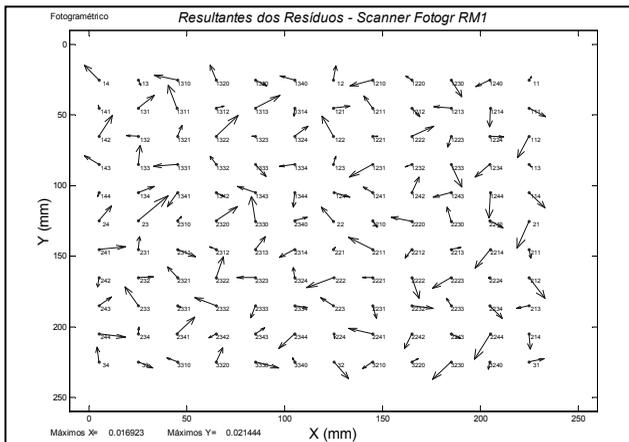
A mesma metodologia utilizada para determinação das deformações utilizada no EPSON foi aplicada a uma imagem do *grid* gerada no *scanner* RM1. Constatase que os resíduos provocados pelos erros geométricos desta imagem possuem resultantes indicadoras de baixa distorção geométrica (máximos de 16,92 μ m em *x* e

21,44 μm em y) e total ausência de erros sistemáticos. Isto indica os valores desejáveis de comportamento espacial de deformações (resíduos) tendo em vista que a resolução da digitalização é de 24 μm . O gráfico 3 ilustra os comentários.

QUADRO 2 – VALORES ESTATÍSTICOS DE RESÍDUOS ENCONTRADOS NAS IMAGENS TOMADAS NO EPSON 1640 XL EM DIFERENTES DATAS

IMAGEM (DATA)	m_x (μm) + / -	m_y (μm) + / -	E_x (μm)	E_y (μm)	MAX $_x$ (μm)	MAX $_y$ (μm)
1 (05/04/2002)	529,726	60,261	455,830	48,700	979,512	157,808
2 (05/04/2002)	532,169	60,088	457,844	47,681	977,961	165,722
3 (12/04/2002)	532,938	67,941	458,814	55,266	964,299	167,635
4 (12/04/2002)	533,098	68,225	458,656	55,768	965,316	185,337
5 (19/04/2002)	532,140	71,337	458,022	59,051	979,569	208,665
6 (19/04/2002)	534,994	71,006	460,619	58,971	972,676	195,377
7 (19/05/2002)	534,505	77,080	459,412	63,926	971,534	210,295
8 (19/05/2002)	535,423	73,837	460,761	61,469	963,504	193,890
13 (09/09/2002)	531,035	79,788	456,748	65,791	960,009	209,435
14 (09/09/2002)	530,948	78,699	456,679	65,282	967,852	209,862

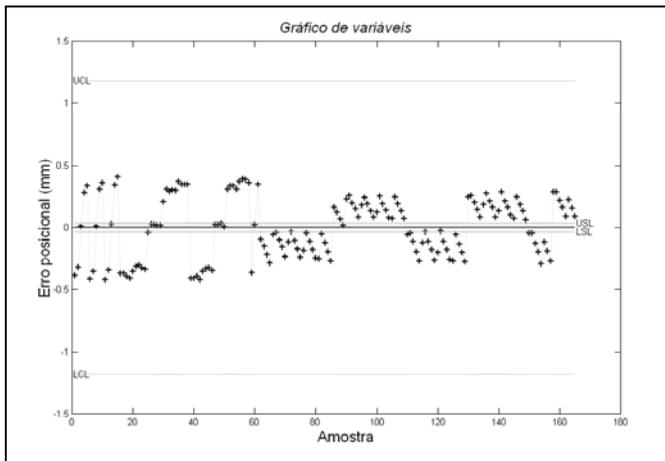
GRÁFICO 3 – RESULTANTES DAS IMAGENS TOMADAS PELO RM1



4.3 ANÁLISE DE EFICIÊNCIA DOS MODELOS

Após a realização de testes com várias transformações, constatou-se ser o melhor resultado a transformação polinomial bivariada de 3º grau. O gráfico () mostra as resultantes dos resíduos após a modelagem com uma característica aleatória e “ondular”, inerente a modelagem polinomial. Os gráficos 4 e 5 de variáveis, se comparados, atestam a melhoria da qualidade posicional dos pontos (amostras) após a modelagem. Percebe-se que todas as amostras posicionam-se dentro dos limites superior (USL) e inferior (LSL) de especificação. Os limites superior (UCL) e inferior (LCL) de controle foram adotados para um nível de confiança de 99,73% (3σ).

GRÁFICO 4 – CONTROLE (VARIÁVEIS) DA IMAGEM 14 TOMADA EM 09/09/2002



A adoção de tal valor é feita com base nos princípios de SHEWART (1924 por SYMLEY, 2001). Tais princípios classificam erros por atributos de causa. Erros dentro dos 3σ são classificados como erros de causa comuns e fora deste limite como de causa específica. As causas comuns estão embutidas no próprio processo tecnológico utilizado, a sua retirada exige incorporação de novas tecnologias. As causas especiais ocorrem devido a desvios do procedimento padrão de operação e são de fácil remoção (SYMLEY,2001).

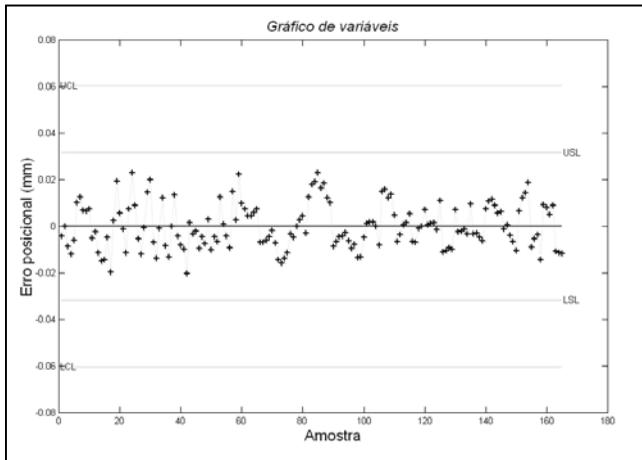
4.4 VERIFICAÇÃO DA APLICABILIDADE

Foram realizados 9 testes para verificação da aplicabilidade. O primeiro foi denominado PLANICOMP. Este teste foi realizado com estéreo restituidor analítico,

com duas aerofotos da câmera WILD RC 10 (quatro fiduciais).

O segundo teste foi denominado VEXCEL. Este teste foi realizado com as mesmas aerofotos do teste anterior, agora digitalizadas em *scanner* fotogramétrico.

GRÁFICO 5- CONTROLE DOS RESÍDUOS APÓS MODELAGEM (TRANSFORMAÇÃO POLINOMIAL DE 3° GRAU)



O terceiro teste denominado EPSON foi realizado com as mesmas aerofotos digitalizadas no *desktop scanner* objeto desta pesquisa, utilizando o operador e a metodologia de tomada praticada pela empresa proprietária do aparelho.

O quarto teste denominado EPSON 2, foi realizado para verificar a influência da planificação do filme na acurácia e precisão dos resultados do ajustamento simultâneo de aerofotos. Como alternativa para planificação do filme o vidro de 6mm utilizado pela empresa foi substituído pelo *grid* de cristal, pois este apresentava falhas visualmente perceptíveis de planaridade. O quinto teste foi denominado EPSON 3, onde as mesmas aerofotos do teste anterior foram utilizadas com o método *grid on line* para correção de fotocoordenadas.

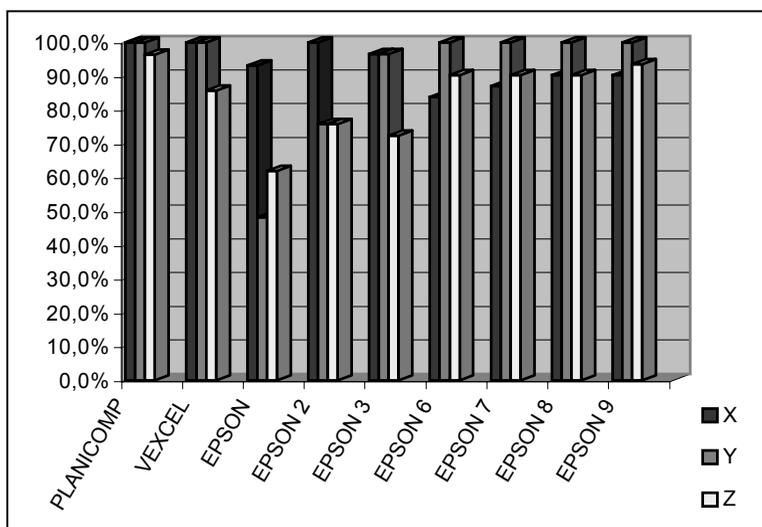
O sexto teste denominado EPSON 6 foi realizado com três aerofotos, também do campo de calibração de câmeras aéreas, mesma escala (1:12000), porém tomadas com uma ZEISS LMK YENA (8 fiduciais). Para a orientação interior foi utilizado o polinômio bivariado de 2° grau e sem a utilização de modelos de correção.

O sétimo teste foi denominado EPSON 7, teve a orientação interior destas mesmas aerofotos realizada pelo mesmo processo (polinômio de 2° grau). Entretanto para a correção de fotocoordenadas foi utilizado o método *grid on line*. O oitavo teste, EPSON 8, foi realizado com procedimento semelhante ao sétimo, diferenciando-se somente no método de correção, que foi de *grid off line*.

O nono teste, denominado EPSON 9, também foi realizado com procedimentos semelhantes aos anteriores (EPSON 6, 7 e 8). Porém neste caso, as três aerofotos utilizadas passaram por um processo de reamostragem com correção pelo método *grid on line*.

O gráfico 6 possibilita a comparação das acurácias obtidas pelos diversos métodos. Os testes são comparados pelo percentual de pontos com erros planialtimétricos de valores menores que o máximo erro planialtimétrico admissível (0,48m), já mencionado no item 3.4.2.

GRÁFICO 6- PERCENTUAL DE PONTOS COM ERROS ABAIXO DO MÁXIMO ERRO PLANIALTIMÉTRICO ADMISSÍVEL (0,48m)



5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Os resíduos ou deformações decorrentes da digitalização utilizando o *desktop scanner* EPSON 1640XL, seguem o comportamento descrito na bibliografia consultada.

Os valores de deformação encontrados são bem maiores do que os encontrados em outros trabalhos consultados. Um dos fatores possíveis é o tipo de transformação utilizado pelos autores para o cálculo dos mesmos (afim no plano), que possivelmente modela parte dos erros geométricos devido a seus parâmetros de escala e rotação. Recomenda-se que tais deformações sejam determinadas com o uso da transformação ortogonal (de corpo rígido) e pela análise das resultantes dos resíduos.

O comportamento das deformações de EPSON 1640 XL é predominantemente axial convergente para o centro da imagem, caracterizando o sistema de lentes pouco eficiente.

O *scanner* fotogramétrico testado (RM1), apresenta erros de característica aleatória e de valores abaixo da dimensão do *pixel* da imagem na qual efetuou-se as observações. Isto denota grande eficiência do equipamento e estabelece um padrão desejável de comportamento dos resíduos.

As aerofotos digitalizadas no VEXCEL apresentaram valores equivalentes em termos de precisão e acurácia aos valores obtidos pelo estéreo restituidor analítico PLANICOMP C100.

A planificação do filme no momento da digitalização exerce papel fundamental na acurácia da imagem gerada em *desktop scanners*. Recomenda-se o uso de vidro fabricado sob encomenda e testado quanto à regularidade (planaridade) de suas faces.

A acurácia e precisão obtida com câmeras de oito fiduciais são maiores do que as de câmeras com quatro fiduciais. Isto se deve à possibilidade do uso do modelo polinomial bivariado de 2º grau para a orientação interior.

Nesta pesquisa a modelagem realizada pelo polinômio de 2º grau na orientação interior das aerofotos foi suficiente para corrigir as deformações da imagem provocadas pelo processo de digitalização no *desktop scanner*.

Para utilização de câmeras de quatro fiduciais é recomendado o uso do modelo de correção com *grid on line* e pode-se considerar adequado para aplicações planimétricas.

Para câmeras de oito fiduciais, pelos critérios utilizados para análise de precisão planialtimétrica é possível afirmar que se utilizando o modelo polinomial para a orientação interior, o *desktop scanner* EPSON 1640 XL apresenta resultados que o classificam como compatível para aplicação em mapeamento planialtimético.

A metodologia empregada nesta pesquisa tem caráter geral e visa subsidiar conhecimento para análise da acurácia e precisão geométrica de *scanners*. Entretanto, os resultados obtidos não o são. Portanto recomendam-se estudos adicionais, ainda que de equipamentos do mesmo fabricante e modelo que o analisado. Recomenda-se também verificar as deformações existentes em outros *scanners*.

Devido à característica sistemática dos erros geométricos do *desktop scanner* objeto de estudo, existe uma grande probabilidade de obtenção de um modelo eficiente de correção para as imagens digitalizadas por estes equipamentos. Então recomenda-se pesquisar outras formas de correção visando uma melhor aproximação com os resultados obtidos por *scanners* fotogramétricos.

Recomenda-se por fim realizar outras aplicações fotogramétricas com imagens geradas pelo equipamento, tais como formação analítica de modelos fotogramétricos, monorestituição e restituição estereoscópica, com análise dos

resultados obtidos.

6 AGRADECIMENTOS

O autor externa sinceros agradecimentos às pessoas, instituições e empresas que contribuíram para a realização desta pesquisa, sendo estas:

- Professores Doutores Edson A. Mitishita, Cláudia Robbi Sluter e Quintino Dalmolin;
- Fotogrametrista Romilton Pedrosa de Lima;
- Curso de Pós-graduação em Ciências Geodésicas da UFPR;
- Empresas: AERODATA, AEROSAT, ENGEFOTO e ESTEIO.
- Especialmente: CODEVASF – Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e Parnaíba pela cooperação, apoio e suporte.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BALTSAVIAS E. P. **Test and Calibration Procedures for Image Scanners**. Como, Itália, 1994a. Artigo apresentado na ISPRS Comissão I, Simpósio 12. – 16 de Setembro. Em IAPRS, Vol. 30, Parte 1, pp. 163 - 170.

BALTSAVIAS, E. P.; WAEGLI, B. **Quality analysis and calibration of DTP scanners**. Viena, Áustria, 1996. Artigo apresentado na ISPRS Comissão I, Working Group 5. Em IAPRS, Vol. 31, Parte B1, pp. 13 - 25.

BALTSAVIAS, E.P.; CROSETTO, M. **Test and Calibration of a DTP Scanner for GIS Data Acquisition**. Udine, 1996. International Center for Mechanical Sciences.

MILLER, S.; DAM A. **Standards for Image Scanners used in Digital Photogrammetry**. Como, Itália, 1994. Proc. of ISPRS Com II Symposium. In IAPRS Vol. 30/2, pp 134-136.

MITISHITA, Edson Aparecido. **Monorestituição Digital de Aerofotos, Associada com Sistema de Computação Gráfica C.A.D., para Fins de Mapeamento na área Florestal**. Curitiba, 1997. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

SYMLEY, Jeff. **Improving The Quality of Mass Produced Maps**. Cartography and Geographic Information Science, vol 28, No. 2, pp 97-110, 2001.

APLICAÇÃO DE REDES NEURAS ARTIFICIAIS NA CLASSIFICAÇÃO DE IMAGENS MULTITEMPORAIS E MULTISENSOR

Narjara Carvalho da Cruz
Maria de Lourdes Bueno Trindade Galo

Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas – FCT/Unesp
 {narjara, mlourdes}@prudente.unesp.br

RESUMO

A disponibilidade de imagens adquiridas a partir de diferentes plataformas orbitais e o caráter multitemporal dos dados de sensoriamento remoto oferecem uma contribuição efetiva na tarefa de quantificar mudanças a partir de imagens obtidas em múltiplas datas. Porém, a análise de mudanças temporais, feita normalmente a partir da comparação entre classificações individuais, é limitada pela dificuldade em compatibilizar as classes resultantes em cada uma das datas de aquisição de dados. A classificação supervisionada através de redes neurais artificiais pode mapear um conjunto de dados de entrada nas mesmas classes de definidas para o processo de treinamento da rede. Assim, desde que os dados multitemporais e multisensor sejam compatíveis, geométrica e radiométricamente, uma rede neural treinada para reconhecer classes específicas em uma data, pode discriminar as mesmas classes em dados multiespectrais tomados em outra época, facilitando a comparação entre as classificações e a análise das mudanças temporais. Partindo-se dessa premissa, foi desenvolvida um aplicação de rede neural artificial para a classificação supervisionada dos tipos de cobertura da terra de uma área conhecida, na qual uma imagem TM/Landsat tomada em 1998 foi adotada como referência para o treinamento e validação de uma rede neural. A rede treinada a partir dessa imagem foi, então, aplicada a uma cena CCD/Cbers adquirida em 2000. Os resultados obtidos indicam que a rede neural treinada e aplicada a dados TM/Landsat, discriminou as classes mais significantivas presentes na imagem CCD/Cbers de 2000.

Palavras-chave: Sensoriamento Remoto, Redes Neurais Artificiais, Classificação de Imagens.

ABSTRACT

Remote sensing images acquired from different orbital systems and their multitemporal character offer an effective contribution in quantifying changes from images obtained in multiple dates. However, the analysis of temporal changes, usually developed by a comparison among individual classifications, it is limited by the difficulty in to make compatible classes mapped in each one of the acquisition dates. Thus, the supervised classification by artificial neural networks, trained to recognize specific classes, can to discriminate the same classes in different data sets, since the multitemporal and multisensor data were registered and radiometrically normalized. In this context, it was developed an artificial neural network application to classify land cover classes in Landsat-TM image obtained in 1998, used to training of the neural net, and Cbers-CCD data acquired in 2000. The results show that the net trained from Landsat-TM of 1998 image, it can discriminated the most significant classes presents in Cbers-CCD image of 2000.

Keywords: Remote Sensing, Artificial Neural Networks, Image Classification.

1. INTRODUÇÃO

As imagens multiespectrais de sensoriamento remoto oferecem uma contribuição efetiva na tarefa de quantificar mudanças a partir de imagens obtidas em múltiplas datas. Porém, a análise de mudanças temporais, feita normalmente a partir da comparação entre classificações individuais, é limitada pela dificuldade em compatibilizar as classes resultantes em cada uma das datas de aquisição de dados. A classificação supervisionada através de redes neurais artificiais pode mapear um conjunto de dados de entrada nas mesmas classes definidas durante o processo de treinamento da rede.

A utilização de Redes Neurais Artificiais com o propósito de classificação supervisionada pode, então, se constituir em uma alternativa vantajosa aos classificadores baseados em conceitos estatísticos, uma vez que nenhuma hipótese prévia sobre a distribuição dos dados a serem classificados é exigida não restringindo a possibilidade de incorporação de dados não espectrais na classificação.

Existem vários modelos de redes neurais artificiais desenvolvidos para as mais diversas aplicações. Dentre eles, destaca-se a *rede neural de perceptron multicamadas*, a qual assume regiões de decisão semelhantes àquelas formadas por um classificador estatístico, porém com entradas não correlacionadas e distribuições diferentes para os dados (LIPPMANN, 1987). Além disso, essas redes podem ser

treinadas por um algoritmo iterativo de aprendizagem, chamado *backpropagation* que as habilita a desenvolver um comportamento associativo correto quando confrontadas com situações de características similares.

Nesse contexto, este trabalho tem como objetivo a verificação do desempenho de uma rede neural na análise multitemporal de imagens de sensoriamento remoto obtidas por sensores diferentes, através da comparação de classificações independentes realizadas para cada data de aquisição de dados. Especificamente, foi aplicada uma rede neural artificial treinada para discriminar classes de uso e cobertura da terra em uma área teste no Pontal do Paranapanema na classificação de dados de sensoriamento remoto tomados em duas épocas distintas no tempo, por sistemas sensores diferentes.

2. APLICAÇÃO DE REDES NEURAIS ARTIFICIAIS NA CLASSIFICAÇÃO DE IMAGENS MULTIESPECTRAIS

Muitas vezes, as propriedades estatísticas de uma classe não podem ser estimadas, de modo que os problemas de teoria de decisão são mais bem trabalhados pelos métodos que produzem diretamente as funções de decisão através dos dados de treinamento, sem levar em conta qualquer informação probabilística das classes de interesse (GONZALEZ & WOODS, 2000).

A tentativa inicial de reproduzir o alto desempenho do cérebro humano em tarefas cognitivas extremamente complexas motivou o desenvolvimento inicial dos modelos de Redes Neurais Artificiais (RNA). Tais modelos representam um tipo especial de processamento da informação que consiste de muitas células primitivas que trabalham em paralelo e estão conectadas através de ligações diretas ou conexões. A principal função dessas células é distribuir padrões de ativação através de suas conexões, de maneira similar ao mecanismo básico do cérebro humano (ZELL et al., 1995).

As redes neurais artificiais são organizadas em camadas que compõem sua topologia ou arquitetura. Existem redes neurais de camada simples (*perceptron*) constituídas por um grupo de neurônios arranjados em apenas uma camada, e as redes multicamadas (*perceptron multicamadas*), formadas por várias camadas intermediárias ou pela combinação de várias redes de camadas simples (VENTURIERI & SANTOS, 1998). Assim, a topologia de uma rede refere-se à maneira como os elementos de processamento são organizados, o que afeta o desempenho da rede, uma vez que sua estrutura está intimamente ligada ao algoritmo de aprendizado usado na fase de treinamento da rede. A rede *Perceptron Multicamadas*, é formada de uma camada de entrada, uma ou mais camadas escondidas e uma camada de saída. A camada de entrada é onde os padrões são apresentados à rede; as camadas intermediárias ou ocultas é onde é feita a maior parte do processamento, através das conexões ponderadas; podem ser consideradas

como extratoras de características; e a camada de saída é onde o resultado final é concluído e apresentado.

As redes multicamadas têm sido muito utilizadas para soluções de problemas envolvendo altos graus de não-linearidade, quando os dados de entrada são dados muito similares. Tais redes adotam um treinamento supervisionado que utiliza um algoritmo muito popular chamado de retro-propagação de erro (*error backpropagation*), e é baseado na regra de aprendizagem que “corrige” o erro durante o treinamento (HAYKIN, 1994 *apud* BOCANEGRA, 2002).

Normalmente algoritmo de treinamento ou aprendizagem “*backpropagation*” utilizado para treinar uma rede *Perceptron Multicamadas* é derivado Regra Delta Generalizada, e é o algoritmo mais conhecido para aprendizagem supervisionada. Esse algoritmo permite um ajuste de pesos em cada uma das camadas da rede e é projetado para minimizar a soma do quadrado do erro (ou erro médio quadrático) entre a saída calculada por uma arquitetura multicamadas e a saída desejada. O componente essencial desse algoritmo é o método iterativo que propaga regressivamente o erro requerido para adaptar os pesos, a partir dos neurônios da camada de saída para os nós das camadas precedentes (LIPPMANN, 1987).

Segundo GALO (2000), o processo de treinamento pelo algoritmo começa com a definição de um conjunto arbitrário de pesos para as conexões da rede e envolve duas fases distintas. Na primeira, um vetor de treinamento com a respectiva saída desejada, é apresentado à rede e propagado através de suas camadas para computar uma saída para cada elemento de processamento. As saídas dos nós da última camada são, então, comparadas com as saídas desejadas e a partir disso são calculados os termos de erro. A segunda fase envolve um retrocesso, ou seja, uma passagem de volta através da rede a partir da última camada, durante a qual, o erro é repassado para cada elemento de processamento e os pesos correspondentes são convenientemente alterados. Em um treinamento bem sucedido, este erro diminui com o aumento do número de iterações e o procedimento converge para um conjunto estável de pesos.

Desse modo, quando um padrão é apresentado à rede pela primeira vez, esta produz uma saída aleatória. A diferença entre esta saída e a desejada constitui o erro. A intenção do treinamento é buscar cada vez mais diminuir o valor deste erro. Para tal intuito, o valor dos pesos deve ser ajustado a cada nova iteração. A regra *backpropagation* proporciona que os pesos da camada de saída sejam os primeiros a serem ajustados e, posteriormente, os pesos das demais camadas, de trás para frente. Porém o algoritmo *backpropagation* apresenta alguns problemas quanto às dificuldades de aprendizado. Em superfícies muito complexas, o treinamento é muito lento e existe o risco da rede cair num mínimo local. Além disso, pode ocorrer *overfitting*, fenômeno que surge depois de um certo tempo de treinamento, quando a rede memoriza os padrões que já foram apresentados e o processo de classificação piora sensivelmente. Possíveis soluções para estes problemas podem ser citadas

como: diminuir a taxa de aprendizado, adicionar nós na camada intermediária ou utilizar um termo de *momentum* e adicionar ruídos (RAIA, 2000).

De acordo com GONZALEZ & WOODS (1993) o número de elementos de processamento (nós) da primeira camada corresponde ao número de variáveis ou dimensão vetor de atributos dos dados de entrada, a camada de saída terá tantos elementos quantas forem às classes a serem separadas. O problema maior está na definição do número de camadas escondidas e do número de nós que as compõem. Na prática este problema tem sido geralmente resolvido por tentativa e erro e/ou pela experiência prévia do operador no domínio de uma dada situação.

Segundo GALO (2000) após o aprendizado da rede, ela classifica os padrões de interesse usando o conjunto dos pesos ajustados durante a fase de treinamento e calculando para cada padrão de entrada, os valores de saída associados a cada classe.

3. MATERIAL E MÉTODO

3.1 DADOS DE SENSORIAMENTO REMOTO

No desenvolvimento do projeto foram utilizadas imagens multiespectrais, multitemporais e multisensores de sensoriamento remoto de uma área teste definida na região do Pontal do Paranapanema. Esses dados se constituíram de imagens orbitais adquiridas pela câmara CCD do satélite sino-brasileiro CBERS e cenas TM/Landsat, tomadas em 25 de dezembro de 2000 e 02 de julho de 1998, respectivamente. A imagem multiespectral adquirida por esses sensores refere-se às bandas CCD 1, 2, 3 e 4 e TM 1, 2, 3 e 4, selecionadas a fim de garantir uma compatibilidade espectral mínima entre os dados multisensores. A imagem TM/Landsat (órbita ponto 223/75, quadrante D+) foi disponibilizada pela FCT/Unesp, enquanto que a imagem CCD/CBERS (órbita ponto 160/126) foi cedida pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Especiais).

3.2 PRÉ-PROCESSAMENTOS NECESSÁRIOS PARA DEFINIÇÃO DOS DADOS DE ENTRADA E CLASSES DE SAÍDA DA REDE NEURAL

Os dados utilizados pela rede neural foram submetidos aos pré-processamentos necessários para que a rede fosse capaz de reconhecer as mesmas classes nas imagens multitemporais e multisensor, (TM/Landsat e CCD/Cbers), ou seja: registro entre as imagens, reamostragem do tamanho do pixel e normalização radiométrica. Inicialmente foi necessário definir uma área de estudo, levando em consideração a representação integral da área em cada data de aquisição dos dados e imagem; o grau de cobertura de nuvens que a imagem CCD/CBERS possuía e; a

representatividade das classes de uso e cobertura da terra presentes em ambas as cenas.

O registro geométrico foi feito para que as imagens multitemporais e multisensor tivessem coincidência espacial nas diferentes datas de aquisição dos dados. Foi também necessário a compatibilização do tamanho do pixel nas cenas obtidas por diferentes sensores. Para este procedimento foram adotados os dados de melhor resolução espacial, ou seja, a imagem CCD/CBERS (20 m de resolução espacial).

A fim de minimizar grandes variações na radiometria das cenas adquiridas em diferentes épocas, foi aplicada uma técnica de normalização radiométrica, utilizando a média e o desvio padrão dos valores de brilho de uma das cenas. Nesse processo, foi tomada como referência a imagem CCD/CBERS, pois possuía um melhor contraste. Essa técnica só pôde ser utilizada pelo fato das bandas espectrais dos diferentes sensores serem definidas nos mesmos intervalos espectrais, ou seja, nas regiões do espectro do azul (banda 1), verde (banda 2), vermelho (banda 3) e infravermelho (banda 4). Tais bandas constituíram os dados de entrada para a classificação pela rede neural.

As classes de saída foram definidas com base no conhecimento anterior da área de estudos e referem-se a: **fragmentos florestais, pastagem, atividades antrópicas, solo exposto, corpos d'água e área sujeita a inundação.**

3.3 ÁREAS DE TREINAMENTO E VALIDAÇÃO PARA CLASSIFICAÇÃO PELA REDE

A aquisição de dados amostrais para as áreas de treinamento e validação foi feita através da extração de áreas ou segmentos da imagem, em cada um dos planos de entrada da rede (bandas espectrais TM/Landsat pré-processadas), e pela definição de um plano de saída associado à ocorrência de cada classe de interesse.

Nesse processo, foram selecionadas duas áreas de treinamento e uma de validação que procuravam englobar todas as possíveis classes de saída definidas através da imagem a ser classificada.

Após a aquisição das amostras de treinamento e validação a partir da imagem TM/Landsat, esses dados foram analisados estatisticamente com o propósito de verificar a ocorrência de uma possível confusão entre as classes dentro das áreas selecionadas. Para essas amostras foram estimados a média e o desvio padrão dos valores de brilho das bandas espectrais para cada classe de saída, em relação a cada plano de entrada (imagem TM/Landsat, bandas 1, 2, 3 e 4).

3.4 CLASSIFICAÇÃO DOS DADOS PELA REDE NEURAL ARTIFICIAL

Todo o processo de testar diferentes arquiteturas de rede neural e aplica-lás para classificar os conjuntos de dados espaciais foi realizado utilizando o simulador de

redes neurais artificiais SNNS, baseado na plataforma Linux. Esse simulador desenvolvido pela Universidade de *Stuttgart* (*Stuttgart Neural Networks Simulator - SNNS*) é um ambiente de simulação eficiente e flexível para a pesquisa e aplicação de redes neurais artificiais.

Os dados de entrada da rede se constituíram, em um primeiro momento, das bandas espectrais derivadas de processamentos específicos aplicados aos dados TM/Landsat, bandas 1, 2, 3 e 4. Para uma melhor identificação das classes de saída da rede neural foi utilizada como referência imagem TM/Landsat pré-classificada, a partir da qual, foram definidas e obtidas as áreas de treinamento e validação para treinar as arquiteturas de rede testadas.

As simulações, realizadas durante a etapa de treinamento da rede, constaram da aplicação de diferentes arquiteturas de rede aos dados de validação, a fim de selecionar a melhor arquitetura para a classificação e o treinamento foi feito adotando-se o algoritmo padrão de aprendizagem *backpropagation*. O número de camadas escondidas foi testado com diferentes arquiteturas, através das simulações realizadas no SNNS.

A arquitetura que resultou em uma melhor classificação dos dados de validação, definidas a partir da cena TM/Landsat, foi então aplicada na classificação individual da imagem TM/Landsat completa e da imagem CDD/Cbers.

Concluídos todos os procedimentos, foram obtidas as imagens TM/Landsat 1998 e, CCD/CBERS 2000 classificadas mediante aplicação de uma mesma arquitetura de rede neural artificial, treinada com os dados TM/Landsat. Estas imagens foram pós-processadas no software IDRISI no ambiente Windows.

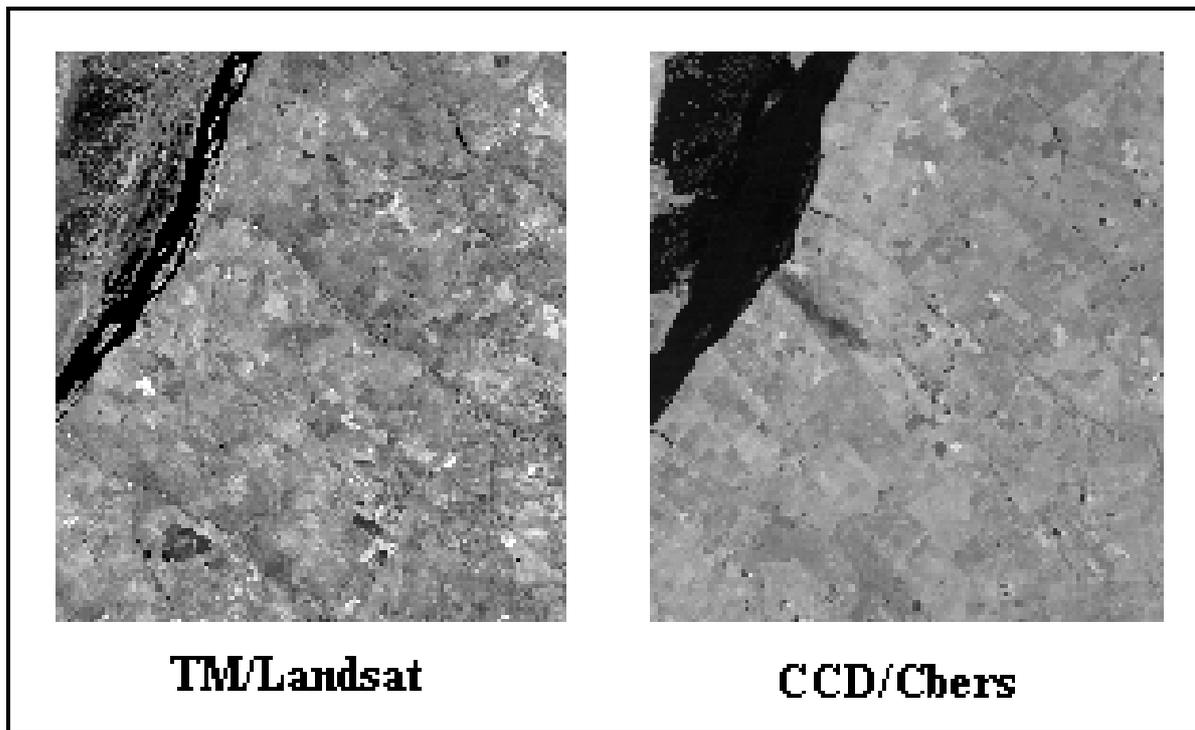
4. RESULTADOS

Na Figura 1 são mostradas as imagens TM/Landsat e CCD/Cbers na banda espectral do infravermelho próximo (banda 4), na qual já foram incorporados os resultados dos pré-processamentos aplicados: recorte das imagens, registro geométrico, reamostragem do tamanho do pixel e normalização radiométrica.

A diferença de contraste, perceptível nas imagens, pode ser atribuída a condições ambientais distintas nas épocas de tomada das imagens. A imagem TM/Landsat foi tomada em uma época seca (julho de 1998), e a imagem CCD/Cbers em uma época chuvosa (dezembro de 2000). Observa-se que variação temporal mais significativa entre elas é a extensão da área de inundação no Rio Paraná, devido o fechamento das comportas da Usina Hidrelétrica de Porto Primavera. Essas imagens também se diferenciam quanto ao maior grau de cobertura de nuvens existente na imagem CCD/Cbers. Algumas mudanças nas áreas de solo exposto são também percebidas,

áreas que anteriormente estavam sendo preparadas para o cultivo na imagem TM/Landsat e que na imagem CCD/Cbers apresentam-se como áreas cultivadas. Essas diferenças podem ser observadas e analisadas na Figura 1.

FIGURA 1 – ÁREA DE ESTUDOS REPRESENTADA NA BANDA 4 PARA DADOS TM DE 1998 E CCD/CBERS DE 2000.



4.1 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS DE TREINAMENTO

Para uma melhor análise das características espectrais dos dados de treinamento foram elaborados gráficos que expressam os parâmetros estatísticos extraídos da área de treinamento de cada uma das imagens. Os gráficos das Figuras 2 e 3 mostram o comportamento espectral médio dos valores de brilho, para cada classe, para as bandas 1, 2, 3, e 4 das imagens TM/Landsat e CCD/Cbers .

Comparando as Figuras 2 (TM/Landsat) e 3 (CCD/Cbers), percebe-se valores bem distintos para a classe “corpos d’água”, devido o alagamento e épocas do ano diferentes em que foram adquiridas as imagens (TM/Landsat – julho de 1998 e CCD/Cbers – dezembro de 2000). Pode-se notar também diferenças nas médias da classe “fragmentos florestais” na banda 3 decorrentes, talvez de desmatamentos, mas que modificaram os níveis de cinza da amostra tomada para essa classe.

FIGURA 2 - ÁREA DE TREINAMENTO PARA A IMAGEM TM/LANDSAT

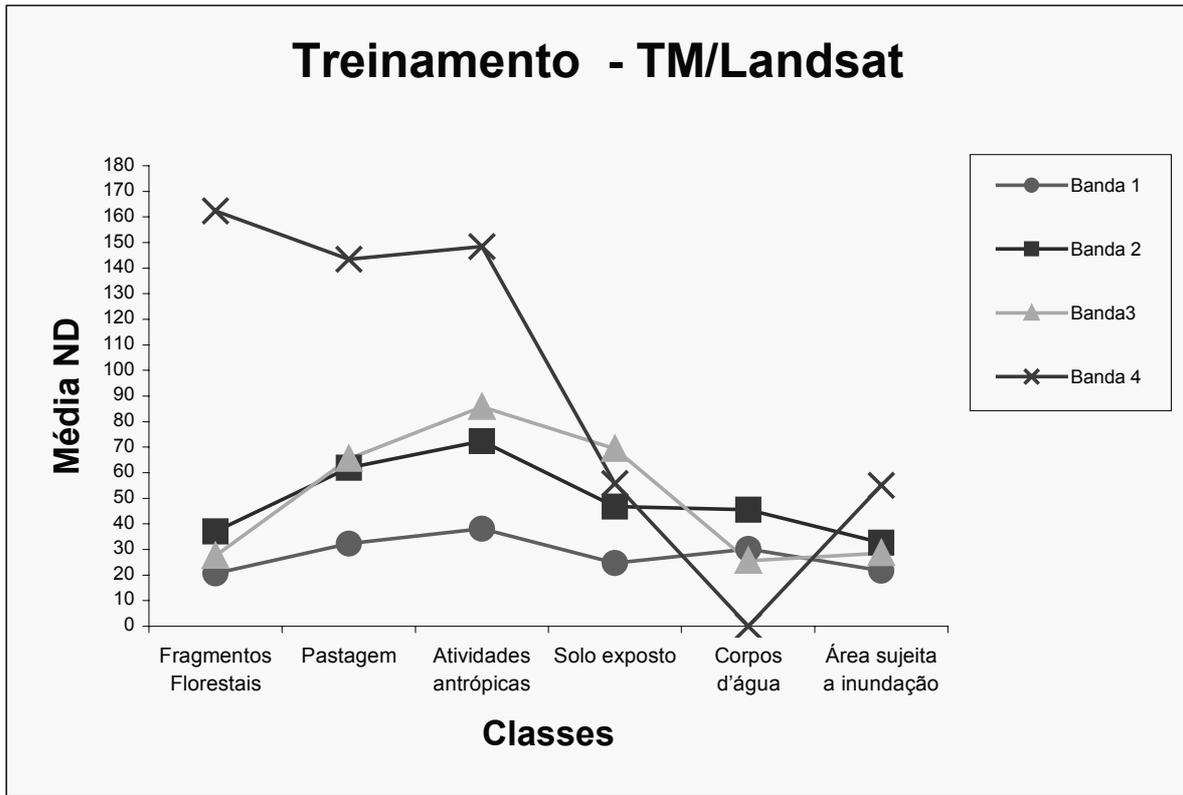
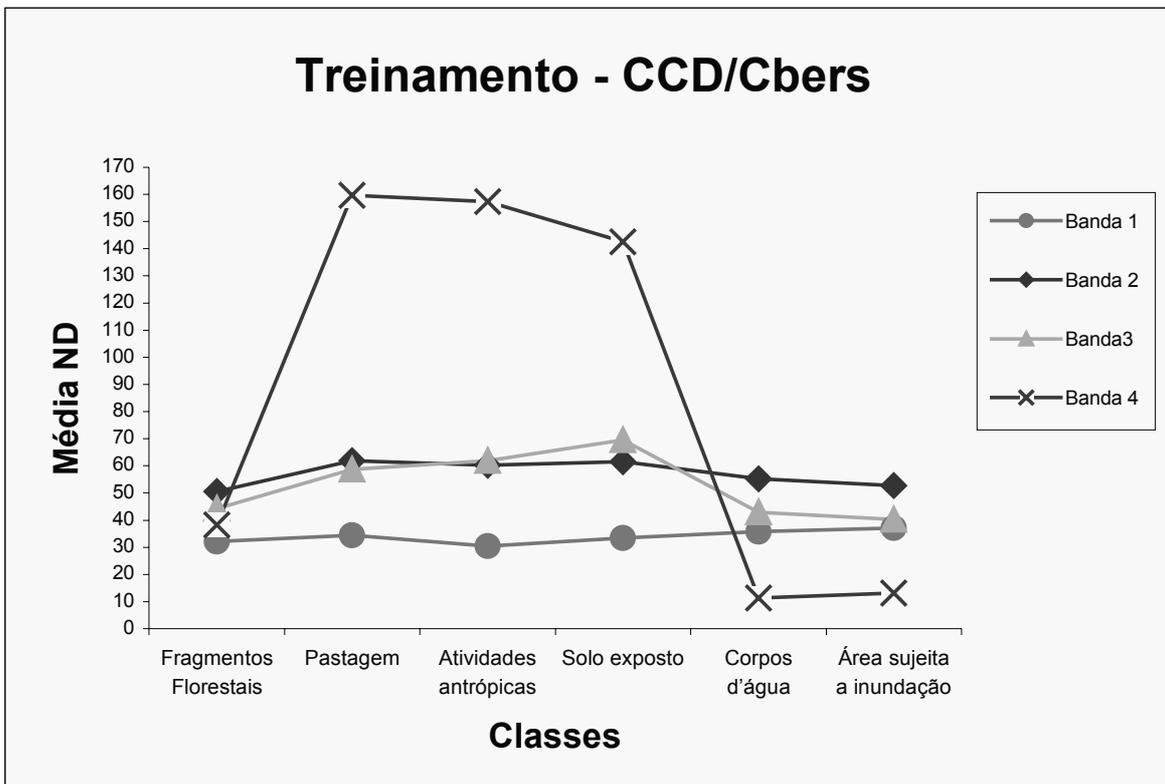


FIGURA 3 – ÁREA DE TREINAMENTO PARA A IMAGEM CCD/CBERS



Pela análise da Figura 2, pode-se identificar as classes “atividades antrópicas” e “solo exposto” como aquelas melhor definidas nas amostras, face às diferentes médias calculadas para as bandas espectrais. Na classe “fragmentos florestais” percebe-se alguma confusão devido aos valores próximos observados nas bandas 1 e 3. Em “área de inundação” o grau de confusão é maior, pois as bandas estão com valores muito próximos. Para “pastagem”, as bandas 2 e 3 mostram valores próximos, enquanto que “corpos d’água” resultou em uma médias próximas nas bandas 1 e 3, dificultou sua definição no conjunto de dados de treinamento.

Em relação à Figura 3, pode-se identificar pouca variabilidade espectral nas bandas 1 e 3, e também um valor próximo de média na banda 2 para a classe “fragmentos florestais”. Na classe “pastagem” os valores das bandas 2 e 3 também estão muito próximos, o que ainda ocorre para as classes de “atividades antrópicas” e “solo exposto” nas bandas 1 e 2. Sendo assim, para essa área há classes bastante homogêneas em termos de média.

4.2- ARQUITETURAS DE REDES NEURAI TREINADAS PARA A CLASSIFICAÇÃO DOS DADOS

A Tabela 1 indica o número de ciclos de treinamento necessário para cada arquitetura de rede proposta, a média do erro (EMQ) para o treinamento e validação e o número de classes discriminadas pelas redes, utilizando a amostra de treinamento. Os valores de EMQ apresentaram-se quase estáveis em todas as arquiteturas, porém a estrutura de rede neural que resultou em maior número de classes é constituída por 4 elementos de processamento na camada, 19 nós na primeira camada escondida, 13 na segunda e 6 elementos de processamento na camada de saída, ou seja, a arquitetura [4-19-13-6].

TABELA 1 – DESEMPENHO DA REDE NEURAL PARA AS DIFERENTES ARQUITETURAS TESTADAS

Arquitetura da rede	Número de ciclos	Média EMQ para treinamento	Média EMQ para Validação	Número de classes discriminadas
[4 - 9 - 6]	500	0,04170	0,02609	3 classes
[4 - 19 - 13 - 6]	500	0,03750	0,02652	5 classes
[4 - 21 - 15 - 6]	200	0,03946	0,02735	3 classes
[4 - 21 - 15 - 7- 6]	500	0,03837	0,02737	4 classes

A Tabela 2 apresenta o número de pixels associados a cada classe para as arquiteturas de rede treinadas. Os números 1, 2, 3, 4, 5 e 6, expressos nessa tabela, representam as classes de cobertura da terra definidas para a área de estudos: corpos d'água (1), fragmentos florestais (2), atividades antrópicas (3), área sujeita a inundação (4), pastagem (5) e solo exposto (6). A arquitetura selecionada para a classificação das imagens [4-19-13-6], foi à única que discriminou a classe “solo exposto”.

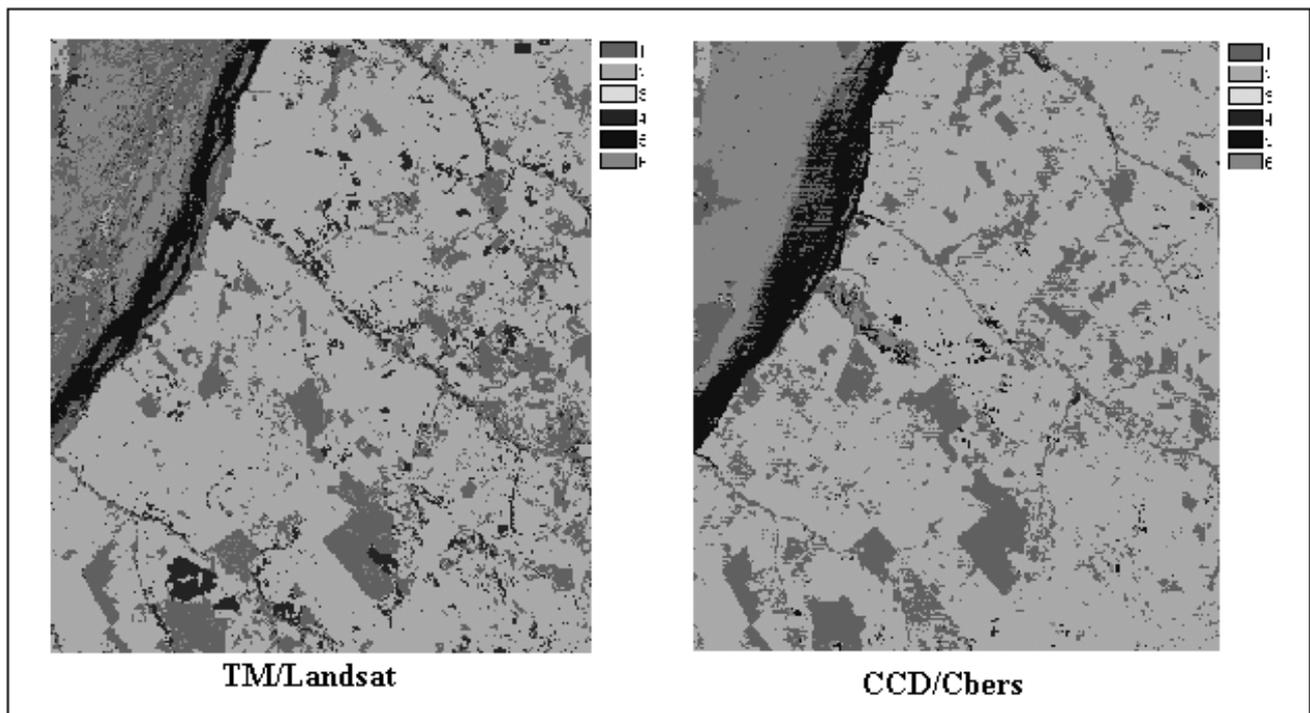
TABELA 2 - PROPORÇÃO DE PIXELS ASSOCIADOS A CADA CLASSE, PARA AS ARQUITETURAS DE REDE TREINADAS COM A AMOSTRA DE TREINAMENTO

Arquitetura	Ciclos	Classes (%)					
		1	2	3	4	5	6
[4 - 9 - 6]	500	11,71	0	0	16,89	71,40	0
[4 - 19 - 13 - 6]	500	8,92	20,10	0	17,77	47,50	5,71
[4 - 21 - 15 - 6]	200	8,12	0	0	23,76	68,12	0
[4 - 21 - 15 - 7 - 6]	500	6,27	21,14	0	19,52	53,07	0

4.3 CLASSIFICAÇÃO RESULTANTES

A Figura 4 mostra o resultado da classificação das imagens TM/Landsat e CCD/Cbers utilizando uma arquitetura de rede constituída por quatro elementos (bandas 1, 2, 3 e 4 do sensor TM/Landsat) na camada de entrada, 19 elementos na primeira camada escondida, 13 na segunda, e camada de saída com 6 elementos (fragmentos florestais, pastagem, atividades antrópicas, solo exposto, corpos d'água e área sujeita a inundação). Com essa arquitetura de rede foi obtido o melhor resultado tanto na classificação da imagem TM/Landsat, quanto da CCD/Cbers. Os números 1, 2, 3, 4, 5 e 6 representam respectivamente as classes corpos d'água, fragmentos florestais, atividades antrópicas, área sujeita a inundação, pastagem e solo exposto .

FIGURA 4– RESULTADO DA CLASSIFICAÇÃO PARA AS IMAGENS TM/LANDSAT E CCD/CBERS, UTILIZANDO A ARQUITETURA DE REDE SELECIONADA.



Pela Figura 4 pode-se perceber que foram separadas 5 das 6 classes propostas inicialmente, e apenas a classe “atividades antrópicas”, que é pouco representativa nas duas imagens, não foi discriminada por essa arquitetura de rede. Nas imagens TM/Landsat e CCD/Cbers as classes “fragmentos florestais”, “área sujeita a inundação”, “pastagem” e “corpos d’água” ficaram bem definidas; apenas a classe “solo exposto”, em alguns locais da imagem TM/Landsat, particularmente nas áreas com maior umidade como nos afluentes do rio Paraná e área sujeita a inundação, foi classificada erroneamente. Na cena CCD/Cbers, as áreas de “fragmentos florestais”, “pastagem”, “corpos d’água” e “área sujeita a inundação” foram bem discriminadas. A classe de “solo exposto”, ao contrário da imagem TM/Landsat, não foi muito bem diferenciada, definindo apenas algumas poucas áreas. Pode-se perceber na classificação da imagem CCD/Cbers que o aumento da área de inundação em relação à área da imagem TM/Landsat é consideravelmente maior. As sombras de nuvens (classe não treinada devido a inexistência de nuvens na imagem TM/Landsat), que possuíam respostas espectrais parecidas com a das classes “área sujeita a inundação” e “corpos d’água”, foram classificadas como tal.

5. CONCLUSÃO

Uma rede neural artificial foi treinada para discriminar classes de uso e cobertura da terra em uma área teste no Pontal do Paranapanema, a partir de dados TM/Landsat, e esta foi aplicada na classificação tanto da própria imagem TM/Landsat, quanto de uma cena CCD/Cbers (tomadas em épocas distintas), como estava previsto no objetivo do trabalho.

O desenvolvimento proposto constituiu, inicialmente, dos pré-processamentos necessários para que uma rede neural pudesse ser aplicada a dados tomados em outra data e por outro sistema sensor, de características similares. A segunda fase, contou do processo de aplicação de redes neurais aos dados anteriores.

Os resultados obtidos indicaram que se os dados multiespectrais e multisensores pré-processados, principalmente quanto à normalização radiométrica das bandas (que devem ter uma definição espectral similar), uma rede treinada com dados de uma data e sensor, pode ser aplicada a uma segunda imagem tomada em outra data e outro sensor, obedecidas as condições de similaridade espectral e radiométrica.

Nessa pesquisa foram encontradas algumas dificuldades no que se refere à definição das classes e aquisição de áreas de treinamento representativas para as referidas classes. Algumas delas apresentaram-se muito similares em termos de resposta espectral, ou foram pouco representativas na cena, como é o caso da classe “atividades antrópicas”, que não foi discriminada na imagem TM/Landsat e nem na CCD/Cbers. A questão da maior cobertura de nuvens da imagem CCD/Cbers também foi uma limitação a ser discutida. A presença de nuvens, com as sombras das nuvens apresentando valores de brilho parecidos com as classes “área sujeita a inundação” e “corpos d’água” resultou na associação dessas áreas sombreadas a essas classes. Outro aspecto a ser considerados quando se trabalho com dados multitemporais é a época do ano em que as imagens foram tomadas. Como a aquisição da imagem TM/Landsat ocorreu no mês de julho e a CCD/Cbers em dezembro, as diferentes condições ambientais nessas duas épocas podem resultar em diferenças entre as mesmas bandas nos dois tipos de dados, que não foram consideradas na normalização radiométrica. Assim, é importante que a data de aquisição de dados seja a mais próxima possível no caso de dados multitemporais.

Apesar de algumas inconsistências observadas na representação das classes nos dois tipos de dados, os objetivos da pesquisa foram alcançados.

6. REFERÊNCIAS

BOCANEGRA, C.W.R.. Procedimentos para tornar mais Efetivo o Uso das Redes Neurais Artificiais em Planejamento De Transportes. 2002. Dissertação

de Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, SP.

BRONDINO, N.C.M . Estudo da Influência da Acessibilidade no Valor de Lotes Urbanos Através do Uso de Redes Neurais, São Carlos, SP.1999.

GALO, M. L. B. T. Aplicação de redes neurais artificiais e sensoriamento remoto na caracterização ambiental do Parque Estadual Morro do Diabo. 2000. Tese Doutorado, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E. Processamento Digital de Imagens, Edgard Blücher, 2000. p. 717.

LIPPMANN, R. P.. An introduction to computing with neural nets. IEEE ASSP Magazine, 1987. v.4, p. 4-22.

RAIA, A. A. J.. Acessibilidade e Mobilidade na Estimativa de um Índice de Potencial de Viagens Utilizando Redes Neurais Artificiais,2000. Tese de Doutorado, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, SP.

VENTURIERI, A.; SANTOS, J. R.. Técnicas de Classificação de Imagens para Análise de Cobertura Vegetal. In: ASSAD, E. D.; SANO, E. E., eds. Sistema de Informação Geográfica: Aplicações na Agricultura, 1998 2ª edição. Brasília, DF. Embrapa –SPI/Embrapa-CPAC. p.351-371.

ZELL, A. et al.. SNNS: Stuttgart Neural Network Simulator. User Manual, Version 4.1, 1995, Stuttgart, University of Stuttgart.

Modeladores Digitais e Realidade (O Museu de Paranaguá)

Prof. M. Sc. Paulo Cesar Lopes Krelling

Universidade Federal do Paraná
Setor de Ciências da Terra
Depto. de Geomática
pkell@geoc.ufpr.br

RESUMO

O uso de modeladores digitais está, a cada dia, invadindo áreas que antes eram redutos de procedimentos topográficos e geodésicos. Mais simples de usar e com precisão de soluções adequadas à maioria das aplicações, tais softwares fornecem resultados rápidos e com diminuição significativa de trabalhos de campo. A diminuição dos custos com equipes de levantamentos e do tempo são fatores extremamente convincentes para sua aplicação, além de não necessitarem de “experts” para seu manuseio. Apresentamos a seguir os resultados obtidos para a modelagem usando dois processos diferentes; o tradicional com medições e modelos de arames empregando AutoCad e o modelamento digital empregando um software de modelamento automático.

Palavras-chave: modelos digitais; restauração; fotogrametria

ABSTRACT

Everyday we see that digital modeling techniques are spreading to different kinds of applications. Sometime ago, they where used almost exclusively as topographic and cartographic applications. Easier to use and with high degree of precision, they now appear as solutions to different kind of problems. They do not need experts to apply them to real world, and do not expend time and money. This paper presents an experiment result about a comparative application of two different techniques; wire modeling and a “automatic” digital modeling using another software.

Keyword: digital modeling; wire modeling;

1.OBJETIVO

O processo de restauração de edificações normalmente torna-se caro e demorado devido ao desconhecimento de seu paradeiro ou mesmo à inexistência de documentação técnica confiável. Sua reunião e/ou produção é demorada e muitas vezes baseia-se em relatos baseados na memória de observadores. A agilização da produção de elementos tão fundamentais para trabalhos do gênero adquire importância enorme na medida que as verbas oficiais são cada vez mais restritas devido ao modelo econômico incompatível com a realidade atual. Modelos digitais têm se tornado uma ferramenta poderosa no auxílio a este tipo de atividades e por este motivo o objetivo deste trabalho foi verificar a sua eficiência do ponto de vista quantitativo.

2. MÉTODO UTILIZADO

Uma das maneiras das quais a ciência se serve para verificação é a comparação de novos modelos tomados como referência. É verdade que isto não assegura que o novo processo seja perfeito, apenas mostra que é compatível com o modelo já existente. Neste caso a opção por este caminho é pertinente pois compararemos os resultados obtidos de diferentes formas com o próprio objeto real. Serão comparados dados retirados de três modelos digitais do mesmo edifício. Estes dados serão as coordenadas de pontos e distâncias. O elemento tomado por verdadeiro será um modelo sem deformações construído a partir de resultados de levantamentos clássicos.

3. PROCEDIMENTOS

3.1 Antecedentes

Há alguns anos foi desenvolvido o projeto GEO-MAEP cujo objetivo era o controle de eventuais deformações no edifício que abriga o Museu de Paranaguá, na cidade litorânea/portuária no Paraná. O prédio apresentava infiltrações de água, crescimento de acelerado de fungos e acentuada degeneração do reboco das paredes em curto espaço de tempo, algo que nunca havia sido observado em toda a sua história. Temendo pela “saúde” do edifício quanto à existência de deformações diferenciais e/ou integral e considerando-se a construção de um aterro bem a frente do prédio (e conseqüente possível modificação da posição do lençol freático), surgiu a idéia de se fazer o controle das deformações da estrutura. Neste projeto foram desenvolvidos levantamentos geodésicos de alta precisão e as coordenadas plani-altimétricas de uma rede de pontos incrustados no edifício foram determinadas. Sobre a coordenada

vertical recaiu maior interesse na parte interior do prédio enquanto que nas fachadas e alguns pontos internos as três coordenadas foram alvo de atenção.

Uma linha (circuito) de nivelamento a partir de uma RN do IBGE defronte à sede da Prefeitura da cidade de Paranaguá, e retornando para ela, serviu de base para o transporte de altitude até as imediações do Colégio Jesuíta. Neste percurso utilizou-se o Nivelamento Geométrico com Visadas Iguais, com percurso de Ida e volta. A precisão atingida foi de nivelamento científico, melhor que $4\text{mm}\sqrt{D}$. Esta mesma linha compunha uma poligonal de ligação entre um ponto planimétrico remoto de referência e as imediações do prédio. A partir desta linha base que circundava a edificação, foram construídas linhas iniciando e terminando em vértices do circuito base passando pelo interior do prédio. Os vértices destas linhas complementares são materializados por parafusos metálicos cravados na estrutura do prédio. Sua localização foi lançada em planta disponível do prédio nos três andares que o compõem. Diversos circuitos foram constituídos de maneira conveniente ao ajustamento de observações que se seguiu. Como resultado do ajustamento apresentamos a tabela abaixo contendo as altitudes obtidas em 1990 e 1991. Outro levantamento foi feito posteriormente para controle da estrutura objetivando observar variações de longo período.

Tabela 1 – Resultados parciais do projeto GEO-MAEP

Observ. 1990	Observ. 1991	Varição 1990- 1991	Observ. 1990	Observ. 1991	Varição 1990-1991
999,6940	999,7300	-0,0360	801,7550	801,8360	-0,0810
1013,1860	1013,2200	-0,0340	786,7700	786,7810	-0,0110
1012,1750	1012,2580	-0,0830	808,0700	808,2880	-0,2180
1012,9810	1013,0700	-0,0890	809,8330	809,8400	-0,0070
1027,8910	1027,9720	-0,0810	804,7340	804,7520	-0,0180
1087,8740	1087,9510	-0,0770	803,3040	803,3840	-0,0800
1130,0590	1130,1020	-0,0430	804,5900	804,6890	-0,0990
1090,6470	1090,7030	-0,0560	807,5730	808,8940	-1,3210
1127,8340	1128,2300	-0,3960	809,9940	809,9930	0,0010
1090,3870	1090,4130	-0,0260	805,4800	805,5370	-0,0570
1087,4320	1087,5700	-0,1380	800,8670	800,8550	0,0120
1118,4320	1118,5090	-0,0770	800,4550	800,4530	0,0020
1119,5730	1119,6100	-0,0370	804,0660	804,4210	-0,3550
1119,8390	1119,6370	0,2020	807,4540	807,7190	-0,2650
1093,1380	1093,3670	-0,2290	736,1270	736,3790	-0,2520

1110,9080	1111,4380	-0,5300	810,9450	811,2900	-0,3450
1111,8950	1112,0520	-0,1570	649,2460	649,5420	-0,2960
1115,4750	1115,5720	-0,0970	468,1930	468,4090	-0,2160
799,2770	799,2650	0,0120	453,3440	453,6300	-0,2860
808,8970	808,9170	-0,0200	484,1130	484,4010	-0,2880
802,6950	802,6490	0,0460	503,3920	503,6810	-0,2890
801,9480	801,9620	-0,0140	264,1500	264,2990	-0,1490
801,7180	801,6950	0,0230	189,5650	189,7570	-0,1920
796,0450	796,0670	-0,0220	697,5950	697,7200	-0,1250
Desvio padrão das diferenças (cm)				0,0488	

Um conjunto de RNs com coordenadas planimétricas conhecidas foi implantado nas vizinhanças do museu a partir das quais foram tomadas as fotos da edificação.

3.2 Modelo I

Um projeto denominado DIGI-MAEP foi desenvolvido com o objetivo de criar um modelo único digitalizado do Museu de Paranaguá (foram efetuadas mais de 60000 medidas no prédio). Com estes dados foram criados modelos digitais utilizando o software AutoCad de cada ambiente. Todos os modelos individuais foram então consolidados em um único e este transferido para o ambiente do software Stúdio 3Dmax, com o objetivo de produzir animações gráficas no futuro. Texturas foram colhidas do ambiente real e adicionadas ao modelo de arame dando-lhe o realismo característico do local de estudo. Baseado em valores reais de alta precisão, o modelo obtido tem características peculiares de precisão, sem deformações.

3.3 Modelo II

Utilizando-se do software 3D-Construction foi criado um segundo modelo. Para isto foram tomadas 3 fotos da fachada sul do Museu, que fica de frente para o Rio Etiberê. Tais fotos foram obtidas de maneira que houvesse sobreposição lateral entre elas e que nestas áreas existissem pontos que foram levantados por ocasião do projeto GEO-MAEP (neste projeto as coordenadas destes pontos foram determinadas por métodos tradicionais de levantamentos geodésicos). As distâncias entre os pontos de controle foram calculadas a partir das coordenadas tridimensionais obtidas no projeto GEO-MAEP.

3.4 Modelo III

Este modelo aplicou o mesmo software que o modelo II, o mesmo conjunto de fotos porém, neste caso, foram utilizadas distâncias medidas com trena de aço entre os pontos tomados como referência na fachada do edifício.

Tanto para o Modelo II quanto para o Modelo III foi fornecida a posição da câmara (ela foi posicionada em pontos de coordenadas conhecidas da poligonal adjacente ao prédio) e coordenadas de pontos para referenciar (registrar) o Modelo II. Para o Modelo III foram apenas fornecidas as distâncias medidas com trena entre pontos de controle.

4. FOTOGRAFIAS

As fotos foram obtidas utilizando uma câmara com distância focal de 35mm, a uma distância aproximada de 20m do alvo. A área de cobertura ficou em torno de 21m no maior comprimento do negativo (37x22mm). Escala aproximada 1:570. As fotos foram ampliadas aproximadamente 6,5x para o tamanho 18x24cm (escala 1:88). Em seguida foram scannerizadas com resolução ótica de 600ppp. Com estes procedimentos cada píxel da foto corresponde a 0,38 cm do objeto.

5. COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS

O processo de comparação de resultados transcorreu abordando dois temas: distâncias entre pontos para averiguar deformações na modelagem e coordenadas de pontos que não tinham sido fornecidos como dados.

Foram comparadas doze distâncias escolhidas aleatoriamente na superfície da fachada unindo pontos acessíveis para eventuais medições e/ou com coordenadas conhecidas mas não utilizadas anteriormente no processo. A comparação das doze distâncias do Modelo I (tomado como referência) com as mesmas doze do Modelo II apresentaram uma diferença máxima de 0,7cm, sendo que 9 delas ficaram com diferença inferior a 0,5. As comparação das distâncias do Modelo I com as mesmas do Modelo III apresentaram diferença máxima de 0,5 cm sendo que dez delas ficaram abaixo 0,4cm.

Para comparação de coordenadas admitiu-se um sistema XZ onde X é o eixo oeste-leste (horizontal, frente do edifício, próximo ao solo) e Z (o eixo vertical à esquerda do prédio) é a altura do ponto.

Comparando-se as coordenadas de pontos escolhidos aleatoriamente no Modelo II e cujas coordenadas eram conhecidas do Modelo I (tomado como padrão) observamos diferenças máximas de 0,8cm em X (deslocamento horizontal) e 0,7cm em Z (deslocamento vertical). A mesma comparação com dados do modelo III apresentou variação máxima de 0,6cm em X e 0,7cm em Z. Das 24 coordenadas (X;Z)

utilizadas em cada comparação 19 e 17 respectivamente tiveram diferenças abaixo de 0,4cm.

6. CONCLUSÕES

1- As diferenças ligeiramente maiores quando comparamos as distâncias dos Modelos I e II podem indicar um acúmulo de erro decorrente dos processos clássicos de determinação das coordenadas do modelo II. As distâncias do modelo II foram obtidas a partir das coordenadas retiradas deste modelo.

2- As diferenças ligeiramente menores quando comparamos os modelos I e III podem sugerir um melhor processamento dos dados quando dispomos de distâncias medidas diretamente entre pontos de referência.

3- Para fins de restauração, considerando as características daquele prédio podemos afirmar que este processo de coleta de dados é perfeitamente aplicável.

4- O tempo de coleta de dados, e processamento é extremamente inferior ao processo tradicional (levantamentos topográficos/geodésicos).

5- O erro médio nas duas comparações ficou entre 1 e 3 pixels da foto ampliada.

6- Para utilização em objetos de menor porte a distância câmara-objeto é menor, conseqüentemente a escala da foto é menor. Nestas condições (foto a 3m de distância, escala média aproximada 1:88, escala média da ampliação 18X24cm é de 1:13um) um pixel da foto scannerizada corresponde a 0,55 mm do objeto real. O modelamento como foi feito forneceria dimensões dos objetos com erros de 0,55 a 1,65 mm.

7. BIBLIOGRAFIA

Relatório do Projeto GEO-MAEP
Relatório do Projeto DIGI-MAEP
Manual do software AutoCad R12
Manual do software STÚDIO 3D-MÁX

UPTK: UMA BIBLIOTECA DE FUNÇÕES E CLASSES PARA SUPORTE À PESQUISA EM FOTOGRAMETRIA

Antonio M. G. Tommaselli¹
Júlio K. Hasegawa²
Maurício Galo³

- 1 Unesp – FCT – Campus de Presidente Prudente – tomaseli@prudente.unesp.br
- 2 Unesp – FCT – Campus de Presidente Prudente – hasegawa@prudente.unesp.br
- 3 Unesp – FCT – Campus de Presidente Prudente – galo@prudente.unesp.br

RESUMO

Este trabalho descreve os antecedentes e razões que motivaram o desenvolvimento da biblioteca pública UPTK (*Unesp Photogrammetric Tool Kit*), bem como suas principais características. Esta biblioteca é uma ferramenta de apoio ao desenvolvimento de pesquisas na área de Fotogrametria, sendo constituída por funções e classes escritas nas linguagens C e C++, bem como programas exemplo e conjuntos de dados para testes. São descritas as ferramentas para geração de documentação, os módulos e suas características, mostrando-se, como exemplo, uma tabela com as funções do módulo UPTK_ALGEBRA. A versão 1.0 da biblioteca será disponibilizada para *download* em outubro de 2003.

Palavras-chave: Fotogrametria, desenvolvimento de software, linguagem C/C++.

ABSTRACT

This paper presents the previous experience and main reasons that motivated the development of the Unesp Photogrammetric Tool Kit (UPTK) as well as its main features. This library is a tool kit designed to support photogrammetric research with a set of functions and classes written in C and C++ languages. The documentation tool Doxygen is also briefly presented, as well as the nine modules and its main components, showing one table with the functions of the UPTK_ALGEBRA module. The UPTK 1.0 library will be released for free download by october-2003.

Keywords: Photogrammetry, software development, C/C++ language.

1. INTRODUÇÃO

A proposta de desenvolvimento de uma ferramenta de apoio à pesquisa em Fotogrametria foi resultado de um processo histórico de amadurecimento dos pesquisadores do Grupo de Pesquisa em Fotogrametria. Após 20 anos de existência do Departamento de Cartografia da FCT-Unesp, de 5 anos do Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas e com tempo médio de doutoramento dos docentes de 5 anos, foram verificados alguns fatos importantes:

Todos os docentes dos Grupos de Fotogrametria e os do Grupo de Geodésia desenvolvem seu próprios programas em distintas linguagens (Fortran, C e C++), mas há pouco reaproveitamento de código fonte;

Muitos pesquisadores relegam a um segundo plano a adoção de boas práticas de programação e mesmo a utilização de ferramentas de programação de mais alto nível. Há uma falsa premissa de que é mais importante utilizar o tempo no desenvolvimento de algoritmos resultantes de hipóteses a serem investigadas, do que na aprendizagem de novas ferramentas ou na implementação computacional mais cuidadosa. O resultado disto é o baixo percentual de reutilização de código entre pesquisadores, o que acaba representando um alto custo para a pesquisa científica. Um percentual substancial do tempo nestes projetos é gasto implementando ferramentas já disponíveis, quando poderia ser utilizado no desenvolvimento de novas idéias. Como consequência, também há muita superposição de implementação, pela ausência de compartilhamento público e de documentação adequada.

No caso específico do grupo de Fotogrametria da Unesp, nenhum programa, biblioteca ou software foi até então registrado ou licenciado comercialmente, muito embora tenham gerado dissertações, teses, comunicações em congressos nacionais e internacionais e artigos em revistas nacionais e internacionais, o que atesta sua qualidade. Embora haja reuso de código, isto ocorre de forma pouco sistemática, sendo necessário readaptar as funções várias vezes e, quase sempre, requerendo a ajuda do autor do código original.

Em todas as áreas há uso concomitante de ferramentas comerciais, tanto para ensino quanto para pesquisa, ferramentas estas que poderiam, no futuro, ser substituídas por produtos desenvolvidos internamente.

Não há nenhum tipo de padronização no desenvolvimento de software, deixando-se a cargo do docente e mesmo do aluno o uso de um estilo próprio de programação, o que dificulta enormemente o re-uso do código fonte. Além disto, alguns dos programas foram escritos com pouca preocupação com o custo e desempenho computacional.

Em 1998 foi adquirido o sistema Socet Set, da LH-Systems, em conjunto com o DevKit, que é o conjunto de bibliotecas do próprio sistema. O sistema vem sendo usado até o momento em pesquisas de docentes e alunos de graduação e pós-

graduação e em ensino, mas a utilização do DevKit não se consolidou pela dificuldade em dominar a ferramenta, que possui documentação e tutoriais pouco amigáveis. Houve certa resistência em usar a biblioteca do DevKit pelo seu caráter comercial e a necessidade de custear periodicamente a sua atualização. Entretanto, o conhecimento mais detalhado desta biblioteca, permitiu verificar que seria fundamental construir uma biblioteca de suporte à pesquisa, embora o desenvolvimento de um sistema completo, análogo ao Socet Set, esteja fora dos objetivos do grupo. (LHSystems, 2000, Tommaselli, 1999).

Paralelamente, em 1999, como resultado de um acordo de cooperação com o Instituto de Geomática, da Universidade de Barcelona, foi estabelecido o projeto Seira, cujo resultado foi o compromisso de desenvolvimento de módulos de processamento fotogramétrico pelo Grupo de Fotogrametria da Unesp. Os esforços de captação de recursos foram bem sucedidos pelo parceiro espanhol, mas a empresa brasileira envolvida (Aerocarta) não possuía as condições propícias para o envolvimento no projeto e também não manteve o interesse em receber financiamento com as condições disponibilizadas pela Finep, executora no Brasil do projeto IBEROEKA.

A esta altura, outras iniciativas no sentido de desenvolver os módulos com recursos próprios e de agências de fomento, como CNPq e Fapesp (Hasegawa, 2000; Imai et al, 1999; Tommaselli, 1999) já estavam em andamento. Decidiu-se, então, iniciar uma cultura para o desenvolvimento cooperativo e compartilhado de software, propostas que resultaram no projeto UPTK (Unesp Photogrammetric Tool Kit).

2. OBJETIVOS DO PROJETO UPTK

2.1 GERAL

O objetivo deste projeto é o desenvolvimento/adaptação de uma biblioteca de classes e funções em C e C⁺⁺ para suporte à pesquisa em Fotogrametria digital.

2.1 ESPECÍFICOS

- Preparar um ambiente de desenvolvimento que facilite a disponibilização de bibliotecas documentadas, permitindo a economia de tempo e a evolução para sistemas mais complexos;
- Testar as bibliotecas e incluir programas exemplo;
- Permitir o desenvolvimento cooperativo de softwares com base na filosofia GNU;
- Disponibilizar para a comunidade em geral ferramentas de domínio público;

- Desenvolver, em médio prazo, alguns módulos de um Sistema Fotogramétrico Digital (Albertz e Konig, 1991) ;
- Além do software, disponibilizar também conjuntos de dados para testes e atividades didáticas;
- Explorar e estudar outras ferramentas de desenvolvimento de domínio público.

3. LINGUAGENS E ESTILOS DE PROGRAMAÇÃO

A proposta de reutilizar software já desenvolvido por vários pesquisadores em diferentes linguagens e estilos implica em adotar um conjunto mínimo de regras, começando pela linguagem de programação.

Todos os docentes do Grupo de Fotogrametria programam em linguagem C e alguns poucos em C++. Alguns recursos do ambiente C++ Builder, da Borland, particularmente para a geração de interfaces gráficas, têm sido extensivamente usados, mas pouco da funcionalidade da linguagem orientada a objetos foi efetivamente absorvida. Muitos programas foram desenvolvidos nas décadas de 80 e 90 em linguagem Fortran, sendo importante aproveitá-los ou convertê-los, embora possa ser mais econômico refazê-los.

Mesmo entre os adeptos da programação apenas em linguagem C há diferenças entre estilos e padrão de documentação. Alguns programas são bem documentados e seguem regras de engenharia de software, como a modularidade e o encapsulamento (Pressman, 1987). Outros, embora implementem algoritmos sofisticados do ponto de vista científico, são escassamente documentados e pobres do ponto de vista da estrutura, sendo de difícil utilização imediata em uma biblioteca pública. Este últimos, além da inserção de documentação, deverão ser reestruturados.

A linguagem C++ tem sido usada por alguns membros do grupo, mas não há consenso quanto ao uso desta linguagem como padrão, por algumas razões:

- Há um tempo de latência para a absorção da filosofia e é necessário um treinamento bastante intenso para o uso correto da linguagem C++ e da filosofia de orientação a objetos;
- Os programas tendem a ser mais elegantes mas o desempenho pode ser inferior se não forem adotados alguns cuidados (Siek e Lumsdaine, 1999).

Foram feitos testes comparando as linguagens e confirmou-se a queda de desempenho, quando muitos níveis de abstração são criados. Siek e Lumsdaine (1999), entretanto, constataram que é possível trabalhar com componentes genéricos, um dos atrativos da linguagem C++ e preservar a eficiência, desde que tratando adequadamente os algoritmos e usando compiladores modernos. Alguns experimentos recentes mostraram que as implementações em linguagem C++ podem ser ainda mais eficientes que em C.

Embora todos os problemas possam ser resolvidos com a linguagem C padrão, desde que mantendo regras de programação bastante rígidas, não há dúvidas que a reutilização de código é extremamente facilitada quando se utiliza a programação orientada a objetos.

Com base nestas considerações decidiu-se por definir um conjunto mínimo de regras de programação, que podem ser encontradas na página web do projeto. O objetivo destas regras é tornar o código o mais homogêneo possível, permitindo seu aproveitamento, adaptação e otimização.

4. OUTROS TOOLKITS E BIBLIOTECAS

Muitos toolkits e bibliotecas, particularmente para a construção de interfaces gráficas, estão disponíveis para uso livre, particularmente para a geração de interfaces gráficas, mas encontram-se também muitas bibliotecas para processamento de imagens, cálculos matriciais e outros algoritmos de alto nível. Na seção a seguir, serão descritos alguns dos mais relevantes para a área.

4.1 EXEMPLOS DE BIBLIOTECAS

GTK - O GTK (GIMP Toolkit) é uma biblioteca para a criação de interfaces gráficas. Ela é licenciada usando a licença LGPL, de modo que podem ser desenvolvidos softwares abertos, software livre ou mesmo software comercial não livre, usando o GTK, sem custo com licenças ou royalties. Esta biblioteca é chamada de *GIMP toolkit* porque foi originalmente escrita para desenvolver o programa GNU Image Manipulation Program (GIMP), mas o GTK tem sido usado em vários outros softwares, incluindo o projeto GNU Network Object Model Environment (GNOME). O GTK foi construído sobre o GDK (GIMP drawing Kit) que é basicamente um conjunto de funções de baixo nível para acesso às funções de janelas. O GTK é essencialmente uma aplicação orientada a objetos para geração de interfaces (API). Embora escrita em C, ela foi implementada usando a idéia de classes de funções *callback* (ponteiros para funções) (GTK, 2003).

VXL O VXL (the Vision-*something*-Libraries) é uma coleção de bibliotecas C++ projetadas para a pesquisa em Visão Computacional. Foi criada a partir dos pacotes *TargetJr* e *Image Understanding Environment (IUE, 2003)*, com o objetivo de construir um sistema mais leve, rápido e mais consistente. O VXL é escrito em ANSI/ISO C++ e foi projetado para ser usado em muitas plataformas. As bibliotecas núcleo do VXL (VXL, 2003) são:

- **vcl (C++ compatibility layer)**: Esta biblioteca existe apenas para garantir que todas as bibliotecas padrão C++ sejam as mesmas em todos os compiladores. Isto significa que todos os headers padrão no VXL são precedidos com as letras

vcl_. Por exemplo, ao invés de incluir `<vector>` deve-se incluir `<vcl_vector.h>`;

- **vnl (numerics)**: Algoritmos numéricos como classes para matrizes e vetores e operações para sua manipulação;
- **vil (imaging)**: Leitura e manipulação de imagens em vários formatos, incluindo imagens muito grandes;
- **vgl (geometry)**: Geometria para pontos, curvas e outros objetos elementares em 1, 2 e 3 dimensões;
- **vsl (streaming I/O)**: Funções de entrada e saída binárias independentes de plataforma;
- **vbl (basic templates)**: Uma coleção templates de classes C++ e funções. Por exemplo, ponteiros, matrizes 2D e 3D e matrizes esparsas;
- **vul (utilities)**: Código não numérico para manipulação de arquivos, diretórios e urls, análise gramatical de comandos, uso de strings, etc..;
- **vpl (posix)**: Comandos POSIX, como `mkdir` e `unlink`.

Além das bibliotecas núcleo, existem bibliotecas enfocando algoritmos numéricos, processamento de imagens, sistemas de coordenadas, geometria da câmara, estereo, manipulação de vídeo, reconstrução a partir de movimento, modelagem probabilística, projeto de interfaces gráficas (GUI), classificação, estimativa robusta, rastreamento de feições, topologia, manipulação de estruturas, entre outras. Estas bibliotecas podem estar no pacote VXL ou em um dos pacotes adicionais como `tbl`, `oxl` ou `rpl`. Cada biblioteca núcleo é bastante leve e pode ser usada sem referência às outras bibliotecas núcleo. Para prevenir interdependência excessiva entre as bibliotecas, existem regras explícitas sobre como cada biblioteca pode usar outra. Isto torna o grafo de dependência esparso e permite compilar e linkar somente as bibliotecas realmente necessárias.

LIMP (Large Image Manipulation Program) - É um pacote de funções para processamento de imagens grandes, desenvolvido em C++ usando templates e compilado com o GCC. Este pacote suporta vários formatos (`char`, `int`, `RGB`, `YCC`, `float`, `double` e variações destes), mais que um canal por pixel, possuindo funcionalidade para processar grandes imagens sem a limitação de memória (LIMP, 2003).

Freeimage: Pacote para acesso a vários formatos de imagens populares como (BMP, JPEG, TIFF, PCX e outros) (FREEIMAGE, 2003).

GLT (Open GL): Biblioteca de classes C++ para programação gráfica 3D interativa em OpenGL (GLT, 2003).

PVT (Projective Vision Toolkit): O pacote PVT é um conjunto de utilitários que permitem tomar uma seqüência de imagens e calcular a matriz fundamental e o tensor trilinear. Este pacote pode ser usado em problemas como auto-calibração, reconstrução a partir de movimento, estabilização de imagens, reconhecimento, etc... (PVT, 2003)

TINA (Open Source Image Analysis Environment): As bibliotecas TINA foram escritas em ANSI C e fornecem infraestrutura para o desenvolvimento de algoritmos. As funcionalidades das bibliotecas incluem (TINA, 2003):

- Funcionalidade para suportar o desenvolvimento de ferramentas sob a interface X windows;
- Estruturas de dados e I/O para diferentes tipos de imagens incluindo char, int, float, double e complex;
- Funcionalidade para manipular e visualizar imagens em conjunto com informações de outros overlays;
- Funções de processamento de imagens como filtros gradiente, operadores morfológicos e estruturas por convolução;
- Estruturas de dados e funcionalidade para construtores matemáticos como vetores, matrizes e tipos geométricos;
- Algoritmos de visão de baixo nível com extratores de cantos e bordas;
- Algoritmos de visão de alto nível como estereo, matching e reconhecimento de objetos;

UCLCV (University of Calgary Laboratory for Computer Vision): Conjunto de ferramentas desenvolvidas em C (UCLCV, 2003) :

- Chain code: a partir de uma imagem binária retorna o código de cadeia correspondente à fronteira do objeto;
- Transformada de Hough: Calcula a transformada para uma imagem binária podendo-se mudar a resolução do espaço Hough;
- Thin: Implementação do algoritmo de Zhang-Suen de afinamento;
- Signature: Calcula a assinatura de um objeto, isto é, o conjunto de coordenadas polares a partir do centro de massa do objeto;
- Vector Templates: Constrói um template pela vetorização da borda do objeto. O resultado pode ser escalado e rotacionado durante o matching;

MTL (The Matrix Template Library): Biblioteca de componentes genéricos para matrizes. Nesta biblioteca foram incorporados os princípios da programação genérica mas os autores desenvolveram uma abordagem unificada para expressar rotinas de álgebra linear de alta performance para grandes classes de matrizes esparsas e densas. Do mesmo modo que na biblioteca STL (Standard Template Library) os autores separaram os algoritmos das estruturas de dados usando técnicas

de programação genérica e concluíram que não havia queda de desempenho com esta abordagem (MTL, 2003).

Qt: É um pacote multiplataforma de ferramentas para o desenvolvimento de interfaces gráficas em C++. Esta ferramenta fornece ao programador todas as funcionalidades para desenvolver aplicações com interfaces gráficas de última geração. Esta plataforma foi introduzida comercialmente em 1996 e é usada em muitas aplicações em todo o mundo. O Qt é a base do ambiente desktop do KDE Linux. O Qt também suporta as plataformas Windows (95, 98, NT, 2000, XP), Macintosh e Unix. Este pacote possui versões comerciais e livres. As versões livres devem ser usadas para desenvolvimento de software livre sob os termos da Licença Pública GNU (QT, 2003).

Gandalf: É uma biblioteca de algoritmos numéricos e de Visão Computacional, escrita em linguagem C, que permite o desenvolvimento de novas aplicações, garantindo portabilidade e eficiência. O uso de vetores, matrizes e estruturas de imagem reconfiguráveis dinamicamente garantem o uso eficiente da memória. O código fonte está disponível para download e pode ser utilizado livremente sob a licença LGPL (Lesser Gnu Public License) (GANDALF, 2003).

Efoto (IME): Trata-se de um kit de ensino e desenvolvimento para Fotogrametria Digital, cujo objetivo é facilitar o aprendizado e a geração de novas aplicações. O software foi desenvolvido em C++ com a interface gráfica Qt, no Instituto Militar de Engenharia (Coelho e Brito, 2002).

TerraLib (Inpe): É uma biblioteca destinada ao desenvolvimento de aplicações para Sistemas de Informações Geográficas, como ênfase no uso de gerenciadores de bancos de dados. O código da TerraLib é aberto e tem sido desenvolvido pelo Inpe, Tecgraf/PUC-Rio e Funcate (TERRALIB, 2003).

5. UMA FERRAMENTA PARA GERAÇÃO DE DOCUMENTAÇÃO PADRONIZADA

A documentação padronizada pode ser considerada um dos pontos fundamentais do trabalho em grupo para o desenvolvimento de software, particularmente quando a equipe é heterogênea e pretende reutilizar código anteriormente desenvolvido, como é o caso do presente projeto.

Inicialmente foi estabelecida uma metodologia de documentação que visava apenas a inserção de comentários descritivos das interfaces das funções e classes e nos algoritmos e tipos de dados. Havia a disposição para editar os manuais e

documentação em hipertexto posteriormente, como uma atividade a ser realizada manualmente, a partir do texto documentado no código fonte.

Somente após a busca por outros `tool_kits` é que foram identificadas algumas ferramentas automáticas para geração de documentação. Estas ferramentas fazem a varredura do código fonte e possuem analisadores sintáticos que buscam palavras chaves da linguagem e códigos especiais inseridos pelos usuários, que permitem o aproveitamento da documentação inserida no código fonte.

Existem várias ferramentas livres e outras comerciais que fazem este tipo de tarefa, podendo-se citar as seguintes:

- **Não comerciais:** AutoDOC, Cocoon, CcDoc, Cxref, Doxygen, HTMLgen, ManStyle, ScanDoc;
- **Comerciais:** DocBuilder, DocJet, Doc-o-matic, Genitor Surveyor, ObjectManual, Together, CC-Rider.

Após uma rápida análise das ferramentas, optou-se pelo sistema Doxygen, que é de uso livre e tem sido utilizado em vários projetos de desenvolvimento de software livre.

O **Doxygen** é um sistema de documentação para as linguagens C, C++, Java, IDL e PHP que pode ser utilizado de três modos (DOXYGEN, 2003):

1. Para gerar documentação on-line em HTML e/ou manuais de referência off-line (em ~~LaTeX~~) a partir de um conjunto de arquivos fonte devidamente documentados. Há também suporte para a geração de saída em RTF, PostScript, PDF com hyperlink, HTML comprimido e páginas man para Unix. A documentação é extraída diretamente dos programas fonte, o que torna muito simples manter a documentação consistente com o código fonte;
2. O Doxygen pode ser configurado para extrair a estrutura do código de arquivos fonte não documentados. Isto pode ser útil para orientar o programador em grandes conjuntos de códigos. As relações entre os vários elementos podem ser visualizadas por meio de grafos de dependência, diagramas de herança e diagramas de colaboração, que são gerados automaticamente;
3. Pode-se usar o Doxygen para criar documentação normal (como o próprio manual do software).

O Doxygen foi desenvolvido originalmente em Linux mas foram compiladas versões para Windows. Na página web do projeto (<http://www2.prudente.unesp.br/dcartog/uptk>) encontra-se uma descrição resumida dos comandos Doxygen e exemplos de como documentar código em linguagem C que possa ser usado para a geração automática de documentação.

Nesta mesma página pode ser consultada a documentação das funções e classes já disponibilizadas bem como recuperar as bibliotecas, após o cadastramento do usuário.

6. ESTRUTURA DOS MÓDULOS DA BIBLIOTECA UPTK

Após a definição da ferramenta de documentação e do estilo de programação e de documentação, passou-se a coletar as funções e classes já desenvolvidas e em desenvolvimento. Foi necessário reagrupar os módulos, em relação à estrutura originalmente prevista. Algumas funções deverão ser descartadas, pois são equivalentes à outras já incorporadas, mas isto terá impacto nos programas mais complexos, como os de Fototriangulação e de Extração de Feições.

Com a finalidade de organizar as funções e classes da biblioteca, contribuindo para a manutenção e também para o planejamento de futuros desenvolvimentos, a versão 1.0 da biblioteca foi estruturada em nove módulos, como descritos abaixo:

UPTK_ALGEBRA

Operações elementares envolvendo matrizes e vetores; estimação de parâmetros pelos métodos paramétrico, combinado, paramétrico com injunções; filtragem Kalman; resolução de sistemas por Cholesky; operações com quatérnions;

UPTK_COORD

Transformação envolvendo coordenadas Geodésicas, coordenadas de projeção (UTM, LTM, RTM), etc;

UPTK_EF

Extração de Feições: cálculo de gradientes usando operadores de Nevatia e Babu e Sobel; limiarização automática pelos métodos de Otsu e Pum; limiarização recursiva; afinamento por supressão não-máxima; conexão de pixels por varredura e rotulação; medição automática de pontos (correlação usando as funções erro, quociente, covariância-cruzada; cálculo do centro de massa de alvos, etc...), identificação de alvos por assinatura; matching por mínimos quadrados (LSM), segmentação por crescimento de regiões; extração de quinas, obtenção de centros de simetria circular;

UPTK_FOTO

Modelos Fotogramétricos: Modelos de câmaras; equações de colinearidade geral, equação de coplanaridade; transformação linear direta (DLT), modelos usando linhas retas (planos equivalentes, Liu e Huang), funções racionais, obtenção das matrizes fundamental e essencial;

UPTK_FOTOTRI

Fototriangulação e registro de imagens; transformações geométricas; calibração de câmaras, resseção espacial convencional, orientação usando a DLT;

UPTK_GEOM

Modelamento Geométrico: Ajuste de polinômios a pontos discretos, ajuste de modelos paramétricos a superfícies, interpolação polinomial; acesso a arquivos de Modelos Digitais de Terreno.

UPTK_IMG

Acesso e armazenamento de imagens nos formatos RAW, PBM, PGM, PPM, TGA, BMP; geração de pirâmide de imagens; pirâmides para grandes imagens; acesso rápido à imagens; operações pontuais de baixo nível nas imagens para realçamento como manipulação de histograma, suavização pela média, mediana, suavização com preservação de cantos e bordas;

UPTK_PRIM

Funções primitivas de propósito geral: estrutura de dados (pilhas, listas, estruturas gerais), manipulação de cadeias de caracteres, etc...

UPTK_RECTIF

Reamostragem de imagens (bilinear, etc...), retificação de imagens; reamostragem epipolar, correção de distorção; geração de ortofotos, retificação por partes.

A estrutura apresentada não é rígida e na medida em que mais funções forem incorporadas à biblioteca, outros módulos podem ser criados, ou até mesmo reagrupados.

Parte do código fonte dos módulos apresentados já está implementado, estando em andamento a documentação de acordo com o estilo Doxygen. Devido ao fato de terem sido utilizados no desenvolvimento das funções e classes diferentes sistemas operacionais e compiladores, está sendo realizada uma revisão dos códigos. Adicionalmente está sendo feita a revisão de parte do código disponível, em linguagem C ou C++, tentando-se padronizar o estilo de implementação.

Na tabela 1 são apresentadas as funções já documentadas do módulo UPTK_ALGEBRA. A apresentação dos demais módulos seria muito extensa para ser incluída neste trabalho, sugerindo-se a consulta à página web do projeto. Estas funções deverão ainda ser re-analisadas para eliminar duplicidades e inconsistências e para melhorar a documentação.

Tabela 1 Funções integradas ao módulo UPTK_ALGEBRA.

void produto_de_matrizes (unsigned int DIM, double matrix_in_1[], double matrix_in_2[], double produto[])
void transposicao_de_matrizes (unsigned int DIM, double matrix_in[], double matrix_out[])
void inversa_3x3 (double matriz[], double *det, unsigned *cond)
void choleski_decomposicao (double *v, int dimensao_b)
void choleski_retro_substituicao (double *v, double *b, int dimensao_b)
unsigned posicao_triangular (unsigned dimensao, unsigned lin, unsigned col)
double distance_2d (double xp1, double yp1, double xp2, double yp2)
double angle_2d (double xp1, double yp1, double xp2, double yp2)
double funcao_peso (double constante, double residuo_padronizado)
double TABLE_5_100 (unsigned dof)
double TABLE_25_1000 (unsigned dof)
double TABLE_5_1000 (unsigned dof)
double t_student (unsigned percent, unsigned dof)
void rotation_matrix_by_quaternion (double a, double b, double c, double d, double quaternion[])
void quaternion_components_from_rotation_matrix (double rm[], double Q4[])
void quaternion_product (double qa[], double qb[], double product[])
void quaternion_invert (double q_input[], double q_inv[])
void versor (unsigned dimension, double inp_vector[], double unit_vector[])
void rotation_quaternion (double angle, double direction[], double rot_quaternion[])
void invert2 (double m[][2])
void rtc (double kapa, double phi, double omega, double trig[], double r[][3])
void mtx_vt (double **A, double *B, double *C, int m, int n)
void mtx_pro (double **A, double **B, double **C, int m, int n, int p)
void normal (double *A, double R, double L, double **N, double *U, int par)
void normal1 (double **A, double **P, double *L, double **N, double *U, int par, int nobis)
void versol (double **MAT, int n)
void vt_vt (double *A, double *B, double *C, int m)
void escalar_vt (double *B, double a, int m)
void apat (double **A, double **P, double **PA, double **AP, int par, int nobis)
void soma_matrizes (double **A, double **B, double **C, int m, int n)
void subtracao_matrizes (double **A, double **B, double **C, int m, int n)
void transposta (double **A, double **At, int m, int n)

7. CONCLUSÕES

Várias dos problemas originalmente previstos foram verificados durante o desenvolvimento do projeto. Um dos grandes problemas é a duplicidade de estruturas de dados e de funções básicas, que são usadas nos programas mais complexos desenvolvidos por diferentes pesquisadores. O impacto na tentativa de agrupar todo o código em uma plataforma comum não é desprezível, chegando a inviabilizar a integração de alguns componentes. Neste sentido, a próxima atividade a ser desenvolvida é a criação de um conjunto de estruturas de dados, classes e formatos de arquivos, que possam ser tomados como padrão pelo grupo de desenvolvimento. Um exemplo desta diversidade é a representação e armazenamento interno de parâmetros de orientação interior. Não houve nenhuma coincidência de estrutura nos códigos analisados, muito embora os modelos sejam quase sempre os mesmos.

No que se refere a arquivos, algumas soluções já estão encaminhadas, como o uso dos formatos **pbm** (e variantes) para imagens. Para a saída de entidades gráficas têm sido usados vários formatos, principalmente o **dxg**. Como este formato é voltado para desenhos e não para dados espaciais, passou-se a estudar o uso de arquivos XML (eXtensible Markup Language) e sua especialização GML (Geography Markup Language). Devido à complexidade deste padrão, entretanto, pretende-se definir formatos simples, também em XML, para saídas e entrada de dados, e a implementação de classes capazes de manipular tais arquivos.

Outro problema que deverá ser resolvido é a compatibilidade de estruturas de dados e arquivos, para evitar duplicidade de funções. A adoção de estruturas e funções padronizadas manterá o código mais homogêneo, mas implicará em significativa revisão nos programas mais complexos, como os de calibração, extração de feições e fototriangulação.

A versão 1.0 da biblioteca UPTK deverá ser disponibilizada em outubro de 2003, após todos os diferentes módulos terem sido compilados e testados. Também deverão ser disponibilizados conjuntos de dados e programas exemplo para testar as diferentes funções. A documentação das funções e classes já implementadas já está disponível na página web do projeto:

<http://www2.prudente.unesp.br/dcartog/uptk/>

REFERÊNCIAS

ALBERTZ, J.; KONIG, G.; The advanced Digital Stereophotogrammetric System of the TU Berlin. In: Digital Photogrammetric Systems, H. EBNER / D.FRISCH / C. HEIPKE (Editors), Herbert Wichmann Verlag GmbH, Karlsruhe, 1991.

COELHO, L. C. T.; BRITO, J. L. N. S. The E-Foto Project: An Educational Digital Photogrammetric Workstation. In: International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, v. XXXIV, tomo 6, Commission VI, São José dos Campos, 2002.

LH-SYSTEMS Users' manual, Socet Set version 4.1.1, setembro 2000.

HASEGAWA, J.K. Mapeamento Fotogramétrico com Sensores Digitais. Projeto Fapesp-98/10062-1, 2000.

IMAI, N.N. et al. Recursos não convencionais de levantamento de dados da superfície para aquisição de informações cartográficas. Projeto Fapesp-97/10956-0, 1999.

PRESSMAN, R. S. **Software Engineering, a practitioner's approach**. McGraw-Hill, 1988.

SIEK, J. G.; LUMSDAINE, A. The Matrix Template Library: Generic Components for High-Performance Scientific Computing. COMPUTING IN SCIENCE & ENGINEERING. The IEEE Computer Society 1999.

TOMMASELLI, A.M.G. Extração automática de feições lineares em imagens digitais para aplicações cartográficas. Relatório Científico, CNPq, Bolsa PQ, 1999.

TOMMASELLI, A.M.G. Implantação de recursos de Fotogrametria Digital na FCT- Projeto Fapesp-97/10749-4, 1999.

Referências a Páginas Web consultadas

DOXYGEN, 2003 <http://www.stack.nl/~dimitri/doxygen/>

FREEIMAGE, 2003 <http://sourceforge.net/projects/freeimage>

GANDALF, 2003 <http://sourceforge.net/projects/gandalf-library/>

GLT, 2003 <http://www.nigels.com/glt/index.html>

GTK 2003 <http://www.gtk.org/>

IUE, 2003 <http://www.aai.com/AAI/IUE/IUE.html>

LIMP, 2003 <http://www.remotesensing.org/docs/limp-ht/>

PVT, 2003 <http://www.cv.iit.nrc.ca/~gerhard/PVT/description.html>

QT, 2003 <http://doc.trolltech.com/3.1/editions.html>

TERRALIB, 2003 <http://terralib.dpi.inpe.br>

TINA, 2003 http://www.niac.man.ac.uk/Tina/tina_intro.html

UCLCV, 2003 <http://www.cpsc.ucalgary.ca/Redirect/vision/chain.c>

VXL, 2003 <http://vxl.sourceforge.net/>

AGRADECIMENTOS

Os autores desejam expressar seus agradecimentos à *Fapesp (proc. n. 01/12748-2)* e ao *CNPq (521264/93-6)* pelo apoio a este projeto na forma de auxílios e bolsas.

DETECÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE VEGETAÇÃO USANDO DADOS DO LASER SCANNER AEROTRANSPORTADO

Máximo A. Miqueles¹
Jorge A. S. Centeno²

1. Engenharia Cartográfica - UFPR, max_miqueles@pop.com.br
2. Departamento de Geomática - UFPR, centeno@geoc.ufpr.br
Caixa Postal 96 – 13416-000 – Curitiba / PR, Brasil

RESUMO

Este trabalho apresenta os resultados obtidos de um estudo que tem como finalidade classificar diferentes tipos de vegetação em uma imagem urbana proveniente do *Laser Scanner*. Como a imagem do laser não possui informação espectral, contendo somente informações a respeito da altitude dos pontos registrados na imagem, propõe-se uma abordagem orientada a regiões para a extração dos objetos. Isto permite a análise de parâmetros espaciais, como a forma dos objetos, para a discriminação de diferentes tipos de vegetação e construções. No trabalho é apresentado um estudo de caso onde a discriminação dos objetos é efetuada usando a abordagem “orientada a objeto” do software eCognition.

Palavra Chave: Laser Scanner, Segmentação, Classificação

ABSTRACT

This work presents the results of a study that aims to classify different vegetation types in a laser scanner image obtained from an urban area. Since laser scanner data don't have rich spectral information, the discrimination of different objects must be performed analysing the elevation information stored in each pixel. The approach proposed in the present study is based on the “object oriented” approach that takes into account groups of pixels instead of isolated pixels. Therefore, the image is segmented and later the segments are classified according to spatial and spectral parameters

Keywords: Laser Scanner, Segmentation, Classification

1. INTRODUÇÃO

O uso de laser scanner como técnica de coleta de dados espaciais está crescendo nos últimos anos. Esta tecnologia encontrou vasto campo de aplicação no mapeamento da superfície da Terra, onde se destaca a aquisição de modelos numéricos do terreno. Alguns países menores, como a Holanda, já têm levantamentos a laser que cobrem toda sua extensão (Wouters e Bollweg, 1998). Outras aplicações são o monitoramento de erosão nas regiões costeiras e o mapeamento urbano, pois as informações altimétricas detalhadas fornecidas pelo laser permitem detectar mudanças do relevo ou da ocupação do terreno.

Visto que o laser scanner permite também estimar a elevação dos objetos acima da superfície, seu potencial uso no monitoramento da vegetação é promissor. Embora o laser scanner não permita uma detalhada descrição das características espectrais dos objetos, para identificar tipos de vegetação em função de sua resposta espectral, ele pode dar informações valiosas a respeito da altura e forma das árvores e plantas. Assim, uma descrição geométrica da vegetação pode ser obtida, como é mostrado por Persson et al., 2002.

Este trabalho apresenta os resultados obtidos de um estudo que tem como finalidade identificar e classificar tipos de vegetação em uma imagem proveniente do *Laser Scanner*. Como a imagem do laser não possui informação espectral, contendo somente informações sobre a forma e altura de objetos, isto permite um estudo ou planejamento do espaço de forma mais rápida e precisa, para isto a imagem passa por processamentos digitais como segmentação e classificação até a obtenção dos resultados.

2. FUNDAMENTOS DE LASER SCANNER

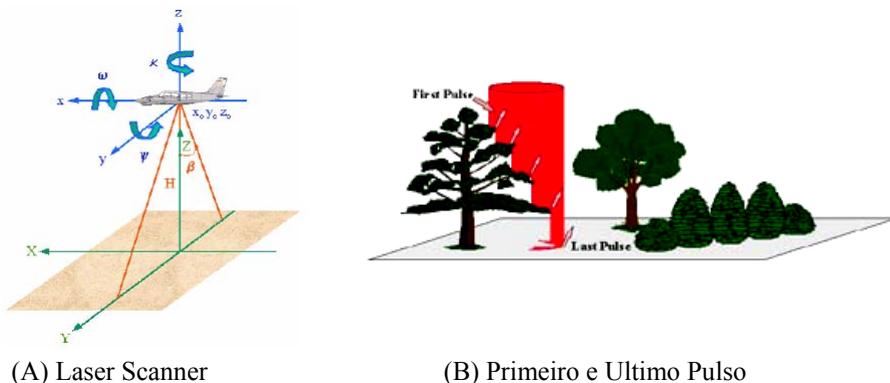
O *Laser Scanner* é um sistema de sensoriamento remoto ativo que permite determinar a elevação da superfície do terreno e os objetos presentes nela. O resultado destes levantamentos é representado geralmente sob forma de uma grade raster, que pode ser analisada usando as técnicas de processamento digital de imagens. A identificação de objetos nas imagens, no entanto, merece uma atenção especial, pois a natureza da informação nelas contida é diferente das imagens associadas às faixas do visível e do infravermelho tradicionalmente analisadas.

Um sistema *Laser Scanner* pode ser instalado em diferentes plataformas, sejam estas aviões (caso que tratado neste trabalho) ou até mesmo veículos automotivos e plataformas fixas (3D Scanners). Este sistema mede a distância entre o sensor e o objeto através de feixes de luz LASER. Tais objetos irão refletir a luz incidente, permitindo ao sistema realizar o cálculo da distância. Utilizando unidades de medições auxiliares, tal como o dGPS (diferencial GPS) e o IMU (Inertial Measurement Unit), que registram a posição e a atitude do avião durante o voo,

torna-se possível determinar a posição de pontos na superfície numa fase de pós-processamento (Gutelius, 1998). A Figura (01A) ilustra este tipo de sistema.

Embora o sinal usado seja altamente coerente no espaço, ele não atinge a superfície de maneira pontual, se não que cobre uma área unitária desta superfície. Então, o eco captado, pode provir de diferentes pontos dentro desta área unitária. Por isto, o *Laser Scanner* pode separar e gravar diferentes reflexões. Duas destas são as mais importantes, a primeira e a última (primeiro e último pulso). A relevância da importância destas duas medições torna-se evidente quando se considera um objeto pouco denso, como por exemplo a copa de uma árvore. O primeiro pulso resulta da reflexão do feixe incidente pelos pontos mais próximos do sensor, ou seja o topo da árvore. Quando a copa não é densa, parte do feixe passa por ela e é refletido pelo solo (último pulso). Este último pulso, cuja duração é mais longa, registra as informações que o primeiro pulso não conseguiu captar, ou seja, permite detectar objetos mais baixos ou obstruídos por outros. A Figura (01B) ilustra o tipo de ocorrência.

FIGURA 01 – FUNCIONAMENTO DO LASER SCANNER



(A) Laser Scanner

(B) Primeiro e Último Pulso

Com essas medições, modelos digitais do terreno podem ser criados para várias utilizações, podendo citar uma como, por exemplo, o modelo tridimensional de uma cidade o qual seria de extrema importância para seu planejamento urbano (Centeno et al., 2000), a identificação de árvores (Holmgren e Söderman, 2002) ou a modelação do relevo (Pereira e Wicherson, 1999).

Um dos campos mais promissórios para o *Laser Scanner* é o mapeamento de cidades, pois permite determinar o volume das construções e, com isto, oferece vantagens para a estimativa do alcance de antenas de comunicação ou para a determinação da altura dos prédios. Uma nova utilidade direta deste tipo de estudos é o monitoramento da vegetação em áreas urbanas, visto que para caracterizar as

construções torna-se necessário separá-las de outros objetos, como a vegetação. No entanto, a separação de construções e vegetação nem sempre é fácil, pois algumas vezes estes dois tipos de objetos apresentam características semelhantes quanto a sua geometria.

Outras aplicações dos dados do laser scanner são listadas a seguir:

- **Telecomunicações** - Para obtenção de modelos de elevação que permitam estudos de propagação de ondas e posicionamento de antenas receptoras e transmissoras (Figura 02A);
- **Engenharia Florestal** - para determinação de volumes e alturas da vegetação, estimativa de biomassa, além da remoção virtual de cobertura vegetal (Figura 03A);
- **Modelos 3D Urbanos** - para cálculo de volumes de feições artificiais, corredores urbanos formados por edifícios em vias preferenciais, estudos de propagação de ruídos e poluentes (Figura 02);
- **Linhas de Transmissão** - para localização da interferência de árvores e estruturas na faixa de domínio, posicionamento de torres e modelagem da catenária dos cabos. Esta aplicação é talvez o melhor exemplo das vantagens dos levantamentos a laser, pois a identificação de pequenos objetos como cabos é muito mais difícil em fotografias aéreas convencionais (Figura 03B).

Figura 02 - DEM

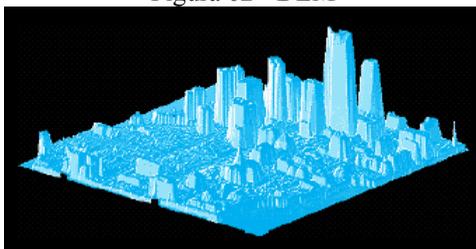
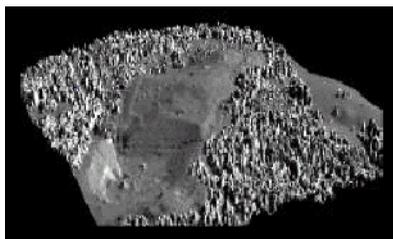
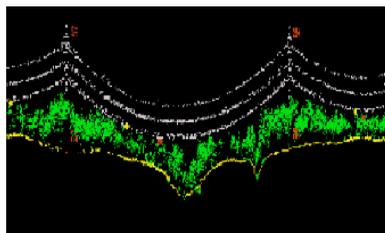


FIGURA 03 – APLICAÇÕES DO LASER SCANNER



(A) Modelo 3D



(B) Linhas de Transmissão

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. MATERIAIS

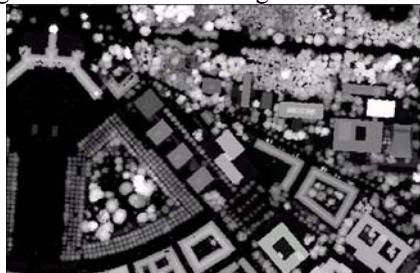
As imagens abaixo demonstram a área aonde foi desenvolvido o trabalho, trata-se da cidade de Karlsruhe (Alemanha), onde a empresa Toposys realizou um levantamento parcial com o *Laser Scanner*. Para esse trabalho foram usadas imagens do primeiro e do último pulso do *Laser Scanner*, fornecidos pelo Instituto de Fotogrametria da Universidade de Karlsruhe - IPF.

O desenvolvimento deste trabalho se baseia principalmente na utilização do *software eCognition*, que possui como principal característica uma abordagem “orientada a objeto”, que é de grande auxílio para a classificação e segmentação das imagens do laser.

Figura 03 – Foto aérea e imagem laser scanner da Região



(A) Foto aérea



(B) Imagem do Laser Scanner

4. MÉTODOS

A metodologia proposta segue a abordagem “orientada a objeto”, ou seja, analisa regiões da imagem e baseia o processo de classificação nas propriedades destas regiões. Para isto, a metodologia é dividida em duas etapas: Na primeira, segmentação, “objetos”, ou partes deles, são procurados na imagem agrupando pixels com valores digitais similares. Na segunda, estes objetos são analisados e classificados segundo suas propriedades espectrais e espaciais.

4.1. PRE-PROCESSAMENTO: CÁLCULO DA MÍNIMA CURVATURA

Para salientar as fronteiras entre os objetos, numa etapa de pré-processamento, uma imagem auxiliar foi derivada a partir das imagens do laser scanner. Esta imagem foi obtida calculando-se o valor da mínima curvatura para cada pixel na imagem original. Neste processo, equações diferenciais ajustam uma superfície à vizinhança de pontos em questão. O método consiste em calcular um valor de Z_i inicial para cada nó das células (grade raster) a partir de pontos próximos, estes cálculos consistem em repetidas derivações até que seja alcançada uma diferença (convergência ou tolerância) entre os valores amostrados e os estimados.

Como característica fundamental, pode-se dizer que as imagens geradas apresentam um contorno bem delineado e muito suave, ou seja, os objetos na imagem ficam com suas bordas bem definidas, permitindo uma melhor visualização e análise de fronteiras entre estes.

Como a determinação da fronteira entre árvores e os telhados é muito difícil considerando apenas a altura dos objetos, a utilização do filtro de *Mínima Curvatura*, aplicado às imagens do primeiro e último pulso do *Laser Scanner*, permitiu salientar as fronteiras na imagem. Com isto, as fronteiras dos objetos ficaram melhor definidas, mas junto com elas apareceram outras “falsas bordas”, ou seja, regiões onde o contraste local é alto, principalmente nas regiões de vegetação, pois é onde a variação da altura é maior.

Estas imagens (correspondentes à estimativa da mínima curvatura) foram utilizadas em conjunto com as imagens originais do *Laser Scanner* como entrada no processo de segmentação, ajudando assim na identificação mais precisa de objetos e ou fronteiras dos mesmos.

4.1. SEGMENTAÇÃO

O processo de segmentação de imagens tem por objetivo dividir uma imagem, em unidades homogêneas, considerando algumas de suas características intrínsecas como, por exemplo, a uniformidade espectral dos pixels, sua textura e contraste (Woodcock et al. 1994). O processo aqui utilizado considera duas características das regiões formadas: sua uniformidade espectral e a compacidade das regiões, de maneira a garantir que as regiões formadas sejam homogêneas em termos espectrais e espaciais.

A formação de regiões, no software eCognition, é controlada por um parâmetro, denominado parâmetro de escala (*scale parameter*), que é o resultado da combinação de dois fatores que descrevem a uniformidade em termos espaciais e espectrais. A escolha deste parâmetro é função do operador, quem define a melhor opção levando em consideração as características dos objetos na imagem. Para sua fixação, o usuário deve ponderar as características das regiões a serem identificadas,

e especificar estas características predominantes (forma e cor) através de valores numéricos entre zero e um.

Numa primeira fase, pondera-se a importância da informação espectral em relação à informação espacial, caso seja considerado que a informação espacial é relevante, existe a alternativa de determinar qual característica é mais importante para as regiões: a compacidade ou a suavidade de seus contornos.

Esta escolha é subjetiva e varia de imagem para imagem. No caso deste trabalho, o parâmetro ideal para segmentar as imagens do laser scanner, com resolução espacial de 1 metro, foi determinado experimentalmente. O resultado foi a adoção de um parâmetro de escala ótimo igual a 60. Quanto ao balanço entre a informação espectral e a informação espacial, na fase da segmentação foi dado maior peso ao fator espacial. Esta escolha se justifica, pois a forma dos objetos presentes é bem definida na imagem laser. A cor, que corresponde aos valores dos níveis de cinza, está associada à altura dos objetos, o que neste caso é uma informação muito restrita. Considerando apenas a elevação dos objetos não é fácil determinar sua natureza.

Assim, o peso dado ao fator de forma foi de 0,8, sendo atribuído 0,2 para a cor. Finalmente, na ponderação dos fatores espaciais, a suavidade dos contornos e a compacidade das regiões receberam o mesmo peso.

4.1. CLASSIFICAÇÃO

A classificação é o processo onde uma decisão é tomada a respeito da classe mais provável para cada elemento. Na abordagem “orientada a objeto”, os elementos considerados não são mais os pixels isolados, mas grupos de pixels, as regiões. A grande vantagem de considerar regiões é que o número de variáveis consideradas na classificação aumenta, pois, além dos dados espectrais, é possível descrever cada região usando parâmetros de forma, textura e associação entre objetos. Com isto, os objetos podem ser mais adequadamente descritos. A grande desvantagem é o fato do resultado, o mapa temático, ser altamente dependente da segmentação e os erros de segmentação não podem ser corrigidos na classificação.

Para identificar tipos de vegetação, foi necessário separar vegetação de outros objetos, como prédios. Esta separação foi efetuada com base nos descritores das regiões obtidas pela segmentação;

Escolheu-se, através de experiências, o conjunto de parâmetros espectrais e espaciais que melhor descrevem as classes em consideração: “Edificação”, “Solo”, “árvores e arbustos” e “Vegetação rasteira”. Os descritores considerados relevantes para cada uma delas, são mostrados na tabela 01.

TABELA 01 – TIPOS DE OBJETOS E DESCRITORES CONSIDERADOS NA CLASSIFICAÇÃO.

OBJETO	DESCRITORES
Solo	Média do Primeiro Pulso
Edificação	Desvio Padrão do Primeiro Pulso e Mínima Curvatura Descritor Not Solo
Vegetação rasteira	Área Comprimento e Comprimento Avançado dos Lados Negação de Edificação
Árvores e Arbustos	Brilho Negação de Árvores e Arbusto

Utilizando tais descritores, os resultados foram bons, porém não suficientes para a finalidade pretendida. Como este resultado era uma primeira aproximação do mapa temático de vegetação e construções, optou-se submeter este resultado a um processo de pós-processamento. Nele, as imagens temáticas foram simplificadas utilizando a morfologia matemática (Haralick e Shapiro, 1997).

Os operadores de “fechamento” e “abertura” foram empregados para formar regiões mais compactas e ao mesmo tempo eliminar apêndices e regiões muito pequenas ou finas. Este tipo de pós-processamento resulta em imagens com áreas de classificação bem definidas.

1. RESULTADOS

Como o *software eCognition* permite trabalhar em níveis de classificação, foram realizadas três etapas de classificação até ser alcançado os níveis de informações desejados. Na primeira etapa, tratou-se de diferenciar todos os tipos de elevação com relação ao solo, obtendo-se assim as categorias de “Solo” e “Elevação”, a Figura 05 ilustra esta ocorrência.

Numa fase posterior, tratou-se de especializar os tipos de elevação, já que, edificações e vegetação encontravam-se no mesmo nível de informação, portanto, foram geradas três categorias de informação (“Solo”, “Vegetação” e “Edificação”), a Figura 06 ilustra esta ocorrência.

FIGURA 05 – SEPARAÇÃO DE “SOLO” E “ELEVAÇÕES”

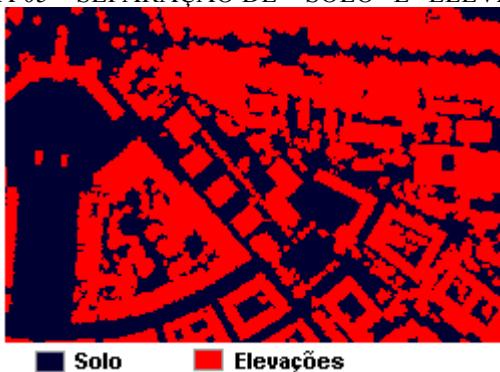
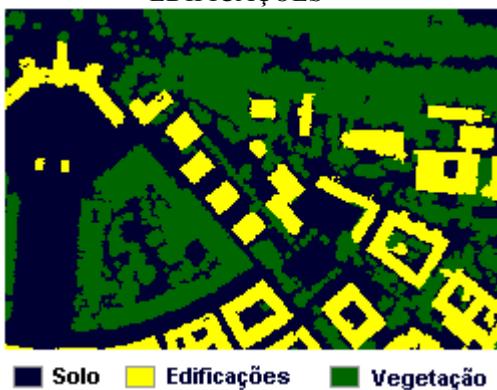


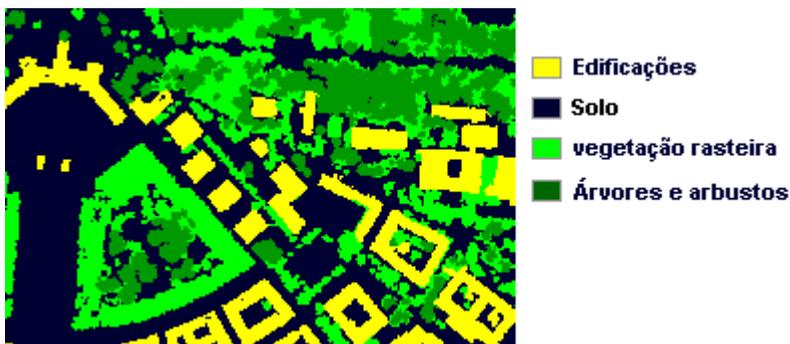
FIGURA 06 – SEPARAÇÃO DE “SOLO”, “VEGETAÇÃO” E “EDIFICAÇÕES”



4.1.

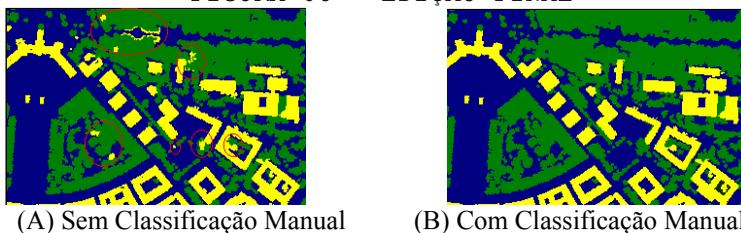
A ultima fase de classificação é com relação ao nível de informação que se objetivava, a classificação de diferentes tipos de vegetação. A Figura 07 mostra o resultado desta classificação.

FIGURA 07 – RESULTADO FINAL DA CLASSIFICAÇÃO



As imagens descritas acima apresentaram resultados satisfatórios, porém não foi possível realizar uma classificação com cem por cento de aproveitamento, o que era o esperado, devido a uma série de fatores descritos abaixo, que dificultaram a extração das construções e vegetação da região analisada. No entanto, os erros remanescentes são poucos, e numa fase final de edição puderam ser removidos, como mostra a figura 08. Na figura 08A é mostrado o resultado original e na figura 08B o resultado após a edição.

FIGURA 08 – EDIÇÃO FINAL



2. DISCUSSÃO

Os melhores resultados foram obtidos com a imagem correspondente ao primeiro pulso do sensor *Laser*, devido a que o primeiro eco do feixe refletido é causado pelo topo da vegetação. No último eco, a vegetação não está mais evidente. No entanto, o último eco, que gera as imagens do último pulso (*last pulse*), serve para separar vegetação de construções.

O processo de identificação pode ser seriamente prejudicado pela ausência de dados, pois neste caso é assumido que a região corresponde ao solo. Com isto, os

objetos nela presentes não podem ser caracterizados. Este tipo de erro pode ocorrer em regiões onde a reflexão do feixe não é satisfatória, por exemplo devido a certos tipos de superfícies serem muito uniformes (superfícies lisas), ocorrendo uma reflexão especular do pulso incidente.

Outro fator a ser considerado encontra-se associado aos erros gerados no processo de segmentação. Quando uma árvore está do lado de uma edificação baixa, torna-se difícil separar estes dois objetos apenas considerando sua altura. Com isto, as fronteiras dos objetos são incorretamente definidas na segmentação e este erro se propaga no processo de classificação. Esta confusão fez com que existissem nas imagens finais, vestígios de vegetação ou edificação dependendo do caso.

Telhados formados pela agregação de pequenos planos inclinados também são fontes de erro, porque pode ser confundido com vegetação, este é o caso das torres do castelo (maior construção apresentada na imagem), que possui uma forma arredondada.

O sucesso deste experimento encontra-se associado ao uso de variáveis espaciais para descrever os objetos, algo que é possível dentro da abordagem “orientada a objeto”. Por estarem representados no formato vetorial, os objetos resultantes da classificação também apresentam uma vantagem: é possível estimar parâmetros espaciais para cada objeto classificado como árvore. Com isto, a estimativa da altura das árvores pode ser obtida diretamente do valor máximo dos pixels que formam a região e a projeção horizontal da coda pode ser descrita em termos de “área”, “perímetro”, “relação entre eixo maior e menor da elipse circunscrita” ou “coeficiente de forma”, variáveis estas que são diretamente calculadas para cada objeto.

5. CONCLUSÕES

Os resultados desta pesquisa apontam a viabilidade da identificação de diferentes tipos de vegetação em imagens de *Laser Scanner*. Para efetuar esta tarefa com eficiência é necessário dispor da imagem completa (primeiro e último pulso), pois a sua combinação permite estimar a elevação dos objetos acima da superfície do terreno.

Para a segmentação dos dados do *Laser Scanner*, a informação a respeito da forma é fundamental, ou seja, a uniformidade espacial dos segmentos é o parâmetro que controla o sucesso da segmentação, pois a altura dos objetos (representada como informação espectral, por estar associada ao valor do n[ível de cinza) não é suficiente para a eficiente discriminação.

No processo de classificação, existe uma grande variedade de descritores espaciais que podem ser aproveitados. Não foi possível identificar um único parâmetro para cada tipo de objeto. Nas experiências constatou-se que a escolha dos parâmetros depende da estratégia de classificação.

O sucesso parcial do experimento apresentado se explica no uso exclusivo dos dados do laser scanner. Analisando apenas a altura dos objetos e a forma dos aglomerados dos pixels torna-se viável estimar a presença de alguns tipos de objetos. Mas, como os objetos numa cena urbana não apresentam forma igual, é difícil parametrizar uma descrição adequada. Recomenda-se assim o uso integrado dos dados do *Laser Scanner* junto a imagens multi-espectrais da mesma região para a identificação dos objetos. Com isto, a qualidade de informação pode ser aumentada e o processo otimizado.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

CENTENO, J.S.; STEINLE, E. ; VÖGTLE, T. (2000). **Análise de modelos numéricos de elevação derivados de Laser Scanner para o monitoramento urbano**. 4º COBRAC, Florianópolis outubro, 2000.

GUTELIUS, B.: **Engineering Applications of Airborne Scanning Lasers: Report from the Field**. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 64(4), p.246-253, 1998.

HARALICK, R. E SHAPIRO, L. : **Computer and Robot Vision**. Vol.1, Addison-Wesley Publishing Company Inc., 1997.

PEREIRA, L.M.G. e WICHERSON, R.J. **Suitability of laser data for deriving geographical information: A case study in the context of management of fluvial zones** . ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 54 1999 p.105-114

PERSSON, A.; HOLMGREN, J.; SÖDERMAN, U.; **Detecting and measuring individual trees using an airborne laser scanner**. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing 68(9), p.925-932, 2002.

TopoSys®, **Topographische Systemdaten GmbH**; Disponível em: <http://www.toposys.com/toposys_d.htm>;

WEHR, A. & LOHR, U.; **Airboune Laser Scanner – An introduction and overview**, ISPRS Journal of Pjotogrammetry & Remote Sensing 54, 1999.

WOODCOCK, C.E.; COLLINS, J.B.; GOPAL, S.; JAKABHAZY, V.D.; LI, X.; MACOMBER, S.; RYHERD, S.; HARWARD, V.J.; LEVITAN, J.; WU, Y.; WARBINGTON, R. **Mapping forest vegetation using Landsat TM imagery and a canopy reflectance model**. Remote Sensing of Environment, New York, v.50, n.3, p.240-254, Dec. 1994.

WOUTERS, W. E BOLLWEG, A.; **A detailed elevation model using airborne laser altimetry**. Geodetic info Magazine (September).

7. **AGRADECIMENTOS**

Os autores desejam agradecer a cooperação do Instituto de Fotogrametria e Sensoriamento Remoto (IPF) da Universidade de Karlsruhe pelo uso das imagens cedidas e à Universidade Federal do Paraná, pelo apoio financeiro para o desenvolvimento do trabalho.

ASSINATURAS EM IMAGENS MULTI ESPECTRAIS

Prof. M. Sc. Paulo Cesar Lopes Krelling

Universidade Federal do Paraná
Setor de Ciências da Terra
Depto. de Geomática
pkell@geoc.ufpr.br

RESUMO

O uso de imagem multi espectrais para detecção de características em bio elementos está a cada dia maior. Com o objetivo de evitar os métodos invasivos de análise das condições que um organismo experimenta, o emprego de imagens multi espectrais é um caminho cujo percurso é irreversível. Mesmo para um simples diagnóstico a distância, via internet e/ou vídeo conferência, a necessidade de acuracidade da cor de amostras de exames patológicos, por exemplo, transmitidos entre fonte e destino já aponta para a necessidade de formas mais precisas de transmissão de dados. A simples imagem sofre variações enormes entre um monitor e outro. A assinaturas espectrais assumem então um papel importantíssimo pois, ao contrário da época em que dispúnhamos de apenas de 6 ou sete canais, agora dispomos de centenas de frequências diferentes para coleta de dados. Como obter a assinatura para cada situação combinando todas estas frequências ?

Palavra-chave: Hiperspectral; Assinaturas Spectrais; Remote Rensing

ABSTRACT

The hyperspectral image use to detect bio elements characteristics is increasing very quickly. In order to avoid invasive exams, p. ex., this images are becoming a great toll to explore the spectral signatures of each bio element that characterizes a specific disease. For a simple diagnostic the long distance image of a exam result can look different from de real one. The spectral signature assumes an important role in this situation.

Despite its power to see what we can imagine only, an arising problem surges: how to work so many information with ? How to transform so many information in a simple group of variables to specify uniquely an element ?

Keywords: hyperspectral images; hyperspectral signatures; Remote sensing

1. O FUTURO (PRESENTE)

Um imageador multi espectral nada mais é que um dispositivo capaz de captar (armazenar e/ou transmitir) dados espectrográficos. Um objeto composto de células (tecido, organismo, etc...), e estas por sua vez de átomos, possui um campo magnético que estabelece uma interação com a energia projetada sobre ele. A variação da “resposta” (energia refletida/energia incidente) está ligada com a composição do material que, por sua vez, poderá estar ligada à saúde da célula. Células cancerígenas, por exemplo, necessitam mais oxigênio, etc... Um tecido com algumas dessas células terá a imagem diferenciada nas regiões onde elas se encontrem.

A adoção de imageadores multi espectrais rompe uma fronteira no âmbito do diagnóstico não invasivo. Agora poderemos ver o que não enxergávamos. Imagens multi espectrais de tecidos cancerígenos têm uma assinatura característica no que concerne à frequência sensível à presença de oxigênio. É fácil de se supor que qualquer irregularidade na característica celular possa ser observada pela variação da sua assinatura espectral. É apenas uma questão de tempo para desenvolverem-se imageadores com ainda maior número de bandas e com menores intervalos de frequências, mostrando-nos o que ainda não conseguimos ver. A tomada de imagens multi espectrais será, sem qualquer margem de dúvida, uma ferramenta de extrema utilidade no processo de diagnóstico.

2. ASSINATURAS ESPECTRAIS

Denominamos de assinaturas espectrais ao conjunto de características que um objeto tem quando analisamos todas as bandas segundo as quais o objeto foi observado. Se considerarmos apenas as 7 bandas mais comuns e as diferentes intensidades (digamos 256 níveis) captáveis pelos sensores disponíveis no mercado podemos perceber quantas combinações possíveis teríamos. Ou seja, quantas assinaturas possíveis diferentes temos ! Se considerarmos não somente as sete mas duzentas ou trezentas diferentes frequências as possibilidades aumentam ainda mais. Se num passado não muito distante percebíamos apenas a diferença entre preto e branco, em seguida as cores visíveis aos olhos humanos e mais tarde as bandas do infra-vermelho e ultra violeta agora temos um número muitíssimo maior de opções e, conseqüentemente maiores condições de diferenciar objetos que antes nos pareciam iguais. Estamos diante da situação em que temos tantos dados que não sabemos nem como processá-los para transformá-los em algo mais simples de ser trabalhado. A

pergunta resultante deste raciocínio é: como representar tanta informação por algo mais simples e de maneira unívoca ?

3. A IMAGEM

Consideremos uma imagem multi espectral, digamos com 200 bandas. Empilhamos este conjunto de 200 imagens de maneira que cada frequência corresponda a um nível de nossa pilha. Criamos um cubo-imagem.

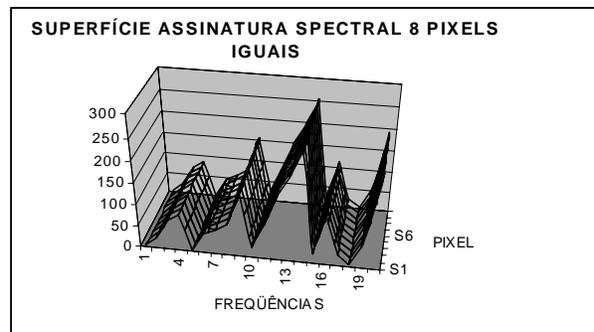
Vamos agora observar este cubo de cima e selecionar um único pixel da imagem. Este mesmo pixel, em cada nível terá uma intensidade de resposta específica. Se

lançarmos estas intensidades ao longo do eixo Y de um gráfico bidimensional onde as frequências ocupam o eixo X teremos uma curva. Esta curva representa a assinatura daquele pixel, ou seja a assinatura do que ele representa do espaço imageado.



Agora imagine que o pixel ao lado do primeiro tenha exatamente a mesma composição e que traçemos a sua curva-assinatura.

Repetindo esta operação para todos os pixels de uma linha da imagem e colocando os gráficos lado a lado teremos uma “superfície-assinatura-espectral” de uma linha da imagem.

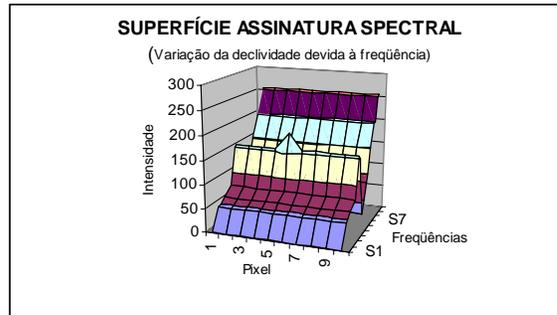


Se um único pixel

tiver sua composição alterada a intensidade de retorno em uma das frequências será alterada e, por consequência, a forma da superfície-assinatura-espectral gerada. A tolerância admitida para variação da forma desta superfície estará ligada diretamente à semelhança entre pixels e, por conseguinte, à semelhança dos objetos analisados. A análise das superfícies obtidas linha a linha fornecem uma forma de interpretar a

imagem baseando-se, por exemplo, na declividade da superfície na direção da linha de pixels. Se esta tender a zero indica similitude, caso contrário diferença.

Esta análise, no entanto, ainda continua complicada uma vez que teríamos que observar todas as frequências envolvidas a cada dois pixels adjacentes, isto é, comparar pares de curvas. O mesmo raciocínio teria que ser aplicado agora segundo as colunas. Como pode-se perceber o processo todo torna-se complexo e demorado. Diante desta constatação, outra maneira de pensar se faz necessária.



4. A OBTENÇÃO DA ASSINATURA

As técnicas convencionais de interpretação (aumentar o número de amostras) não oferecem melhores resultados quando o número de bandas aumenta. Isto ocorre porque a estimativa dos parâmetros estocásticos característicos depende da razão entre as amostras e o espaço característico. Existe então dois caminhos a tomar: o primeiro é obter o maior número possível de amostras das classes; o outro é extrair as suas características fundamentais. Esta última opção parece mais adequada ao trabalho com imagens hyperspectrais uma vez que a outra opção envolve desperdício de tempo.

Uma solução que surge é a utilização de séries de Fourier. Se considerarmos o gráfico espectral de um único pixel podemos obter os coeficientes de uma série de Fourier. O gráfico (com duzentos dados por exemplo) seria substituído por um conjunto bem menor de coeficientes. Dois pixels seriam considerados iguais se os coeficientes das séries correspondentes forem iguais. Este novo espectro de frequência pode localizar padrões globais da curva espectral. A primeira componente que tem frequência zero, por exemplo, representa a média da curva espectral. A menor componente com frequência diferente de zero é chamada de frequência fundamental e a componente com mais alta frequência, chamada terceiro harmônico, é três vezes maior que a fundamental e assim por diante. A comparação entre pixels resume-se a análise da similitude entre coeficientes que representam as características intrínsecas dos objetos.

O uso da transformada de Fourier, como neste exemplo, ainda não resolve totalmente o problema pois dá margem a outras questões como: poderá haver transformadas

de Fourier com coeficientes iguais para amostras diferentes ? Até que coeficiente deveremos considerar iguais dois pixels ? Qual a relação entre a sensibilidade do sensor e grau do coeficiente a ser adotado ? Até que ponto a diferença de intensidades numa única frequência correspondem a um mesmo elemento quando as demais forem exatamente iguais ?

5. CONCLUSÕES

Conseguimos “ver” melhor porém recriamos os mesmos problemas do passado. Se antes somente diferenciávamos o preto do branco, depois diversos tons de cinza, mais tarde cores e diferentes tons de suas componentes agora temos muito mais “cores” com muito maior número de tons. Este refinamento da visão nos leva à conclusão filosófica de que quanto mais enxergamos menos iguais são as coisas. Até que limite consideraremos as coisas iguais ou diferentes de agora em diante ? Como estabelecer critérios de igualdade com este novo patamar de percepção ? Outros trabalhos deverão ser realizados na busca da determinação de um “número mágico” único ou, pelo menos, um conjunto simplificado para a comparação de imagens multi espectrais. Estes trabalhos devem ser iniciados imediatamente pois corremos contra o tempo, na medida que temos mais dados disponíveis do que podemos processar. Com a futura ampliação do número de bandas, e diminuição dos intervalos entre elas, a resolução espectrográfica estará ampliada e maior a dificuldade de comparação.

Por este motivo, algoritmos redutores de sensibilidade e/ou compactadores de informações deverão ser desenvolvidos para permitir interpretações automatizadas sem o risco de não encontrarmos somente pixels diferentes.

6. BIBLIOGRAFIA

- Houghes, G.F. (1969), On the Mean Accuracy of Statistical Pattern Recongnizes, IEEE Trans. Inform. Theory it -14, pp. 55-63.
- Landgrebe, D.A. (1997), On Information Extraction Principles for Hyperspectral Data Lee, C. and D.A. Landgrebe (1993), Analyzing High Dimensional Multispectral Data, IEEE Transactions on G&RS, 31(4):792-800.
- Pi-Fuei Hsien (1998), Classification of High Dimensional Data. Ph.D. dissertation, School of Electrical and Computer Engineering, Purdue University, West Lafayette, Indiana.
- Swain P.H. and S.M. Davis, eds. (1978), Remote Sensing: The Quantitative Approach, McGraw Hill, New York.
- Schowengerdt, R.A. (1997), Remote Sensing Models and Methods for Image Processing (Second Edition), Academic Press.

SISTEMA DE AQUISIÇÃO GEOREFERENCIADO E DE PROCESSAMENTO DE DADOS PARA APLICAÇÕES NA AGRICULTURA DE PRECISÃO

**Júlio Kiyoshi Hasegawa
Nilton Nobuhiro Imai
Paulo de Oliveira Camargo**

Universidade Estadual Paulista
Faculdade de Ciências e Tecnologia
Departamento de Cartografia
{hasegawa, nnimai, paulo}@prudente.unesp.br

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo apresentar um sistema de aquisição e processamento de dados que está sendo implementado para aplicações em Agricultura de Precisão e mostrar como a integração de geotecnologias pode ser utilizada para adquirir informações geográficas com agilidade. O sistema foi projetado para registrar os dados coletados por um receptor GPS, simultaneamente, a cada imagem adquirida pelo sistema. Vários processamentos fotogramétricos foram realizados visando a diminuição ou eliminação dos pontos de apoio. Para validar o processo foram realizados experimentos com o sistema em uma área teste montada nas dependências da fazenda da Embrapa – Soja, em Londrina-PR, cujos resultados são apresentados no trabalho.

Palavras-chave: Agricultura de Precisão, dados georreferenciados, fototriangulação, resseção espacial.

ABSTRACT

This paper present a system for data acquisition and processing, which is being implemented for precision farming applications and to show how the integration of geotechnologies can be used for spatial data acquisition in an easy way. The system was projected to register GPS collected data and each image registered by the system, simultaneously. Experiments were carried out in a test area in order to assess the acquisition process. The results will be shown in this paper.

Keywords: Precision Farming, Georeferenced data, Phototriangulation, Spatial Resection.

1. INTRODUÇÃO

A evolução dos dispositivos de aquisição de imagens digitais multiespectrais (câmaras digitais), do posicionamento (GPS) e outros permitiu o surgimento de uma nova classe de sistemas de sensoriamento remoto aerotransportado. São sistemas baseados em câmaras digitais e destinados à coleta rápida de informações multiespectrais georreferenciadas. Fricker et al (1999, 49-51) trata de uma alternativa dessa abordagem com sensores tri-lineares. A grande vantagem desses sistemas é sua flexibilidade decorrente de sua facilidade de adaptação em aeronaves de pequeno porte. Em levantamentos de pequenas áreas produzem cobertura de imagens multiespectrais de menor custo do que os envolvidos no uso da tecnologia tradicional. Nessa direção, sistemas baseados em câmaras digitais ou em *scanners* aerotransportados tais como: AISA, AVIRIS, CASI and Daedalus ATM SSSDS-1268 (SCHLÄPFER e RICHTER, 2002). Schläpfer e Richter (2002, 2609) apresentam os resultados da aplicação de um procedimento de reconstrução geométrica, em dados AVIRIS, utilizando um modelo paramétrico. O sistema de imageamento aerotransportado utilizado nesse trabalho integra dados de um sensor inercial – INS com dados DGPS. Para completar o tratamento dos dados, os autores relatam os resultados da aplicação do modelo ATCOR4 para realizar uma correção atmosférica. Sensores Inerciais de elevada precisão são inviáveis para o Brasil devido aos custos muito elevados e às restrições de fornecimento impostas pelo governo norte-americano.

Como uma alternativa de mapeamento rápido e a baixo custo, foi desenvolvida uma plataforma terrestre para realizar testes e adequações ao protótipo do sistema integrado de sensores. Desta forma, foi possível realizar alguns levantamentos com a finalidade de calibrar o sistema para aplicações em agricultura, cujos resultados foram publicados nos anais do Simpósio Brasileiro de Geomática (Hasegawa et al – 2002).

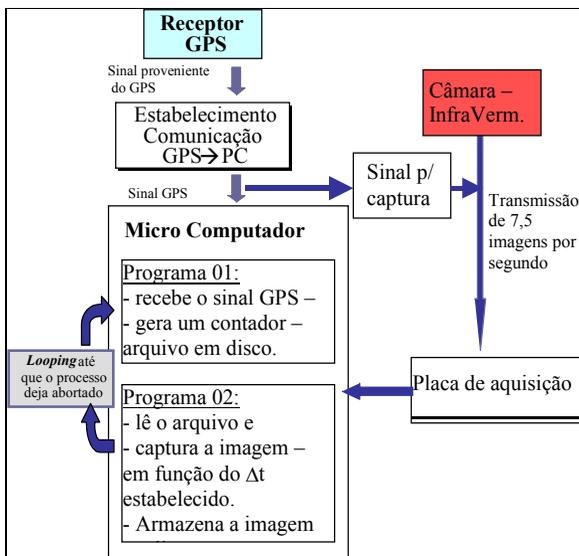
2. SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS

O sistema de aquisição das imagens foi projetado para registrar, simultaneamente, os dados coletados por um receptor GPS com cada imagem adquirida pela câmara multiespectral do sistema. Nesse sentido, foram realizadas ligações entre a câmara digital e o receptor GPS com o PC a partir das portas de comunicação RS-232 (serial).

2.1.1. INTEGRAÇÃO DE SENSORES

O sistema de aquisição, com as comunicações estabelecidas, realiza o processo com duas aplicações integradas: uma recebe o sinal GPS (programa 01 - figura 01) e a outra adquire as imagens (programa 02 – figura 01). O receptor GPS envia ao PC, através da porta serial, um bloco de informações, programados neste projeto com intervalo de um segundo. No entanto, o sinal para a captura é enviado somente em intervalo de tempos estipulado, previamente, no processo de aquisição. Neste projeto, o intervalo entre as tomadas foi de 5 segundos, determinados pelo tempo de gravação de uma imagem no disco do computador. O programa recebe o sinal GPS, desenvolvido em linguagem C - DOS, cria um contador e o grava em um arquivo no disco rígido. O programa de aquisição das imagens faz a leitura desse arquivo e grava, no disco rígido, a hora (do computador) e a imagem contida no *buffer* da placa da câmara, conforme o intervalo estabelecido no projeto.

FIGURA 01: FLUXOGRAMA DO PROCESSO DE AQUISIÇÃO DE IMAGENS GEOREFERENCIADAS

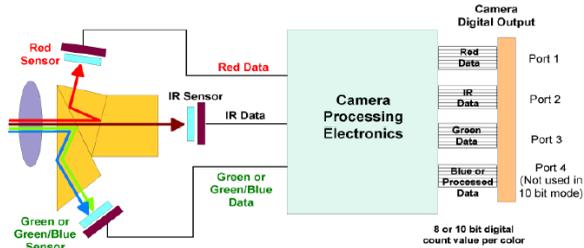


2.1.1.1. CÂMARA DIGITAL

A câmara digital da DuncanTech é do tipo “colorido infra-vermelho” (CIR) na qual as bandas correspondentes ao vermelho, verde e infra-vermelho próximo podem ser adquiridas. Uma quarta porta de comunicação pode ser usada para dados

processados caso a câmara digital fosse configurada para realizar processamento interno. A figura 02 mostra um esquema dessa câmara digital.

FIGURA 02 – ESQUEMA DA CÂMARA DIGITAL



Essa câmara possui três conjuntos de sensores CCD, uma para cada banda, provocando assim um erro de registro, provocando deslocamentos nas posições das imagens de um mesmo objeto nos diferentes canais. Desta forma, para obter informações geométricas é recomendado o processamento em uma única banda.

3. SISTEMA DE PROCESSAMENTO DE DADOS

3.1. FOTOTRIANGULAÇÃO SIMULTÂNEA COM OBSERVAÇÃO GPS

Na solução da fototriangulação determina-se, simultaneamente, além das coordenadas dos pontos no espaço objeto, os parâmetros de orientação exterior de todas as fotografias envolvidas no processo, para tanto, ela depende das coordenadas (determinadas no terreno) de alguns pontos de apoio.

Basicamente, o processamento deste método é realizado através do ajustamento de todos os feixes (imagens) num bloco de fotografias envolvendo rotações e translações de cada feixe, conforme figura 03. As equações de colinearidade são (LUGNANI, 1987).

$$x_p = -f \cdot \frac{m_{11}(X - X^C) + m_{12}(Y - Y^C) + m_{13}(Z - Z^C)}{m_{31}(X - X^C) + m_{32}(Y - Y^C) + m_{33}(Z - Z^C)}$$

$$y_p = -f \cdot \frac{m_{21}(X - X^C) + m_{22}(Y - Y^C) + m_{23}(Z - Z^C)}{m_{31}(X - X^C) + m_{32}(Y - Y^C) + m_{33}(Z - Z^C)}$$

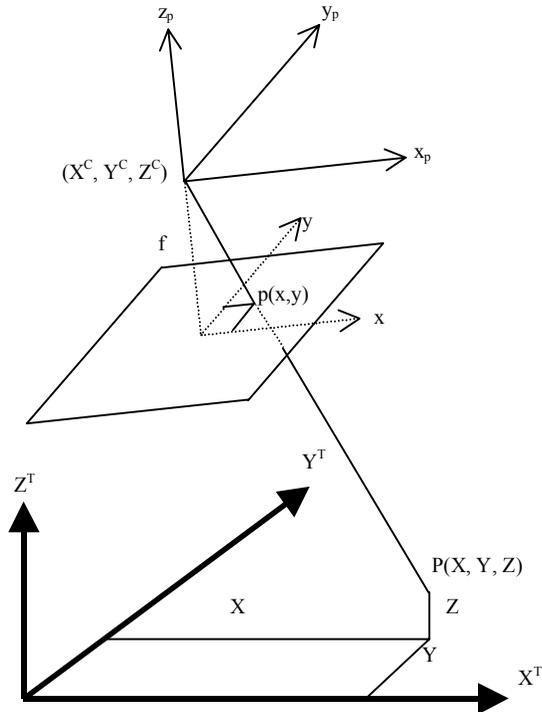
(1)

onde:

x_p e y_p coordenadas do ponto p no sistema fotogramétrico;
 X , Y e Z coordenadas cartesianas do ponto P no espaço objeto;

X^C, Y^C e Z^C coordenadas do centro perspectivo no sistema de coordenadas do espaço objeto;
 m_{ij} elementos da matriz de rotação;

FIGURA 3 – CONDIÇÃO DE COLINEARIDADE



O processo de fototriangulação simultânea requer vários pontos de apoio (a cada 4 modelos dois pontos) ao longo da faixa e conseqüentemente no bloco, onerando ou dificultando o mapeamento fotogramétrico.

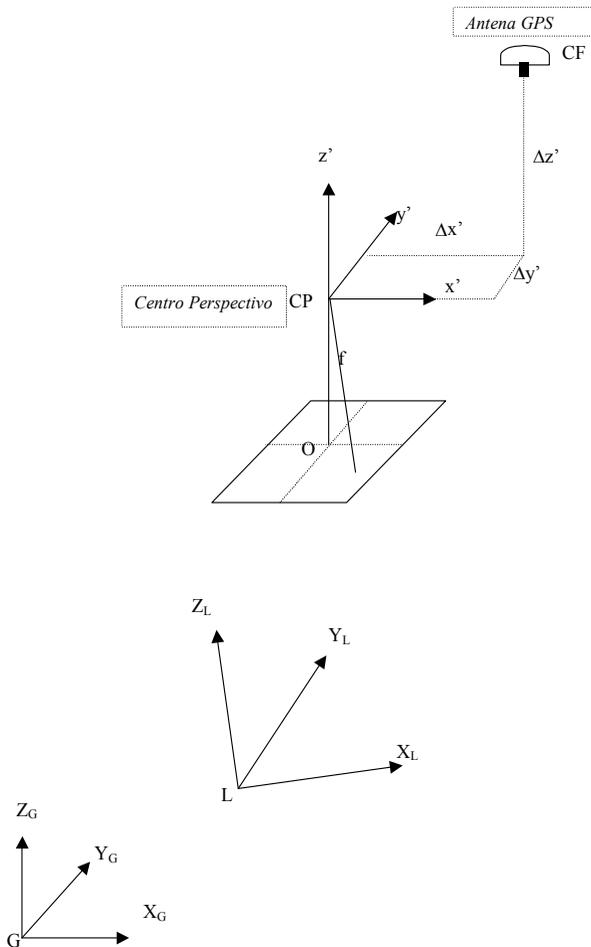
Assim, para diminuir a quantidade de pontos de apoio terrestre necessários para o processo de reconstrução 3D, o conhecimento da posição dos centros perspectivos (CP) da câmara vem contribuir de forma significativa no processamento da fototriangulação. A figura 04 representa a geometria do sistema montado.

Na figura 04, existem três sistemas de coordenadas: x', y' e z' representa o sistema de coordenadas fotogramétricas; X_L, Y_L e Z_L representa o sistema de coordenadas cartesianas local; X_G, Y_G e Z_G representa o sistema de coordenadas cartesianas geocêntrico. A fim de evitar a utilização de mais um sistema de

coordenadas, geralmente, transforma as posições obtidas com o GPS para o sistema cartesiano local.

Na integração dos sensores, conforme o esquema mostrado na figura 04, o centro de fase da antena GPS não coincide com o centro perspectivo da câmara, gerando assim três parâmetros de translação ($\Delta x'$, $\Delta y'$, $\Delta z'$), com origem no CP (COLOMINA, 1989). Essas três incógnitas ($\Delta x'$, $\Delta y'$, $\Delta z'$) que podem ser calculadas medindo-se diretamente (por métodos topográficos) ou indiretamente no processo de fototriangulação.

FIGURA 04 – SISTEMAS DE REFERÊNCIA ENVOLVIDOS NO LEVANTAMENTO



A relação entre o centro de fase da antena e CP é dada pela equação (COLOMINA, 1989):

$$\begin{bmatrix} X_{CF} \\ Y_{CF} \\ Z_{CF} \end{bmatrix}_L = \begin{bmatrix} X_{CP} \\ Y_{CP} \\ Z_{CP} \end{bmatrix}_L + R \begin{bmatrix} \Delta x' \\ \Delta y' \\ \Delta z' \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{bmatrix} (t - t_0) \quad (2)$$

onde:

$[X_{CF}, Y_{CF}, Z_{CF}]_L^T$ vetor com as coordenadas do centro de fase da antena GPS no sistema geodésico local;

$[X_{CP}, Y_{CP}, Z_{CP}]_L^T$ vetor com as coordenadas do centro perspectivo da câmara no sistema geodésico local;

R matriz de rotação definida pelos ângulos (ω , ϕ , κ) de Euler;

t_0 e t são os instantes das tomadas fotográficas da primeira foto e da i -ésima foto da faixa, respectivamente;

a_1, a_2, a_3 constantes (translação) para a faixa, interpretada como correção do posicionamento GPS e;

b_1, b_2, b_3 constantes (translação) dependentes do tempo para a faixa, interpretada como correção da deterioração da velocidade.

Esses seis parâmetros ($a_1, a_2, a_3, b_1, b_2, b_3$) modelam os erros sistemáticos oriundos do posicionamento GPS, sendo que os três primeiros referem-se ao deslocamento do satélite na órbita predita, e os outros três aos distúrbios dos sinais entre os satélites e o receptor. Portanto, com a integração de sensores verifica-se que seis novos parâmetros são gerados por faixa do bloco, necessitando-se assim um mínimo de pontos de apoio no terreno. Neste trabalho, esses parâmetros não serão considerados no processamento, o que resulta na equação:

$$\begin{bmatrix} X_{CF} \\ Y_{CF} \\ Z_{CF} \end{bmatrix}_L = \begin{bmatrix} X_{CP} \\ Y_{CP} \\ Z_{CP} \end{bmatrix}_L + R \begin{bmatrix} \Delta x' \\ \Delta y' \\ \Delta z' \end{bmatrix} \quad (3)$$

A equação 3 deverá ser tratada, no processamento da fototriangulação simultânea do bloco, como observação adicional. Desta forma, foi realizada uma adaptação no programa de fototriangulação de modo a possibilitar a determinação do deslocamento da posição do centro de fase da antena GPS no sistema fotogramétrico, nesse caso, mais três parâmetros incógnitos são acrescentados na solução do sistema. Na prática, determinam-se os valores de $\Delta x', \Delta y', \Delta z'$ por métodos diretos (medindo com teodolitos ou colocando a antena na direção do eixo óptico da câmara).

3.2. RESSEÇÃO ESPACIAL

Uma das alternativas para realizar um mapeamento rápido e a baixo custo é a geração de mapas a partir do processo de restituição com uma única foto

(monorestituição). Essa operação é condicionada ao conhecimento da altitude dos pontos, geralmente considera-se que o terreno seja plano. Para tanto, é necessário o conhecimento dos elementos de orientação interior e exterior da câmara.

A determinação das coordenadas (X, Y) podem ser calculadas utilizando-se as equações de colinearidade inversa (WOLF, 1988):

$$X = X^C - \frac{m_{11} x_p + m_{21} y_p - m_{31} f}{m_{13} x_p + m_{23} y_p - m_{33} f} (Z - Z^C) \quad (4)$$

$$Y = Y^C - \frac{m_{12} x_p + m_{22} y_p - m_{32} f}{m_{13} x_p + m_{23} y_p - m_{33} f} (Z - Z^C)$$

4. EXPERIMENTOS E RESULTADOS

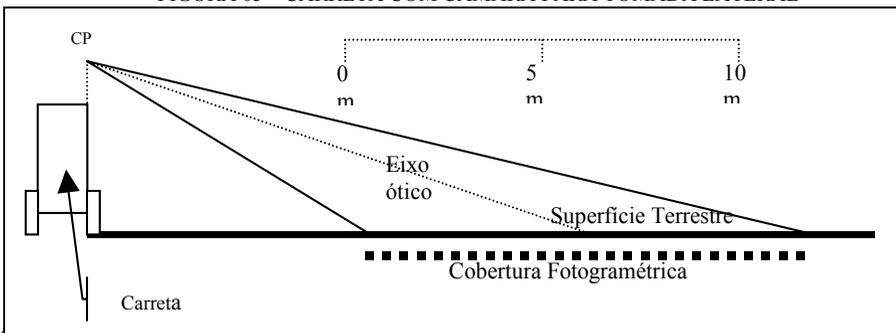
Para validar o processo foram realizados experimentos com o protótipo (Hasegawa et al., 2002) numa área teste instalada na fazenda da EMBRAPA – Soja, em Londrina - PR.

No experimento realizado (primeira campanha de aquisição dos dados), o receptor GPS *Reliance* sofreu uma avaria e a posição do centro de fase da antena não pode ser determinada, adotou-se então tomadas manuais e a determinação de vários pontos de apoio no espaço objeto para o processamento da fototriangulação.

4.1. TOMADA FOTOGRÁFICA

A câmara foi instalada na lateral da carreta com o eixo ótico na direção perpendicular ao caminhamento, assim as tomadas fotográficas foram obtidas com visada lateral.

FIGURA 05 – CARRETA COM CÂMARA PARA TOMADA LATERAL



As coordenadas dos pontos de apoio, num total de 56 pontos, foram determinadas utilizando-se da técnica de posicionamento semicinemático pós-processado. O receptor GPS Z-XII Field Suveyor foi utilizado como base na estação com coordenadas conhecidas e o Reliance como móvel. A taxa de coleta de dados em ambos os receptores foi de 1 segundo. Na estação móvel, cada ponto foi ocupado durante 1 minuto. A precisão (1σ) dos pontos levantados para as componentes planimétricas foi da ordem de 1,6 cm e para a componente altimétrica de 4,3 cm.

4.3. EXPERIMENTOS REALIZADOS

Foram realizados vários experimentos com apenas 30 fotos da faixa e 62 pontos (38 de apoio – dos 56 apoiados - e 24 de enlace). Devido aos problemas ocorridos na fase de aquisição das imagens e com a prática dos experimentos anteriormente realizados (Hasegawa et al., 2002), os seguintes experimentos foram realizados:

- a) fototriangulação simultânea por feixes de raios perspectivos, utilizando 38 pontos como apoio (injunção relativa), resultando em 114 injunções, com 366 incógnitas e 324 observações.
- a) fototriangulação simultânea por feixes de raios perspectivos, utilizando 8 pontos como apoio e com injunções nas posições dos CPs – obtidos no processamento anterior, resultando em 114 injunções (nas posições dos 30 CPs e dos 8 pontos de apoio), com 366 incógnitas e 324 observações.
- b) fototriangulação simultânea por feixes de raios perspectivos, utilizando 8 pontos como apoio e com observações do centro de fase da antena GPS. Neste caso, para o centro de fase da antena GPS foram atribuídos os valores dos respectivos CPs e os deslocamentos entre eles como nulos ($\Delta x'=0$, $\Delta y'=0$, $\Delta z'=0$), resultando em 114 injunções (nas posições dos 30 CFs e dos 8 pontos de apoio), com 369 incógnitas e 414 observações (324 relativos as fotocoordenadas e 30 CFs com 3 observações cada).
- c) Processamento utilizando as equações de colinearidade inversa (equação 3), com os elementos de orientação exterior obtidos no processo de fototriangulação e considerando conhecida as altitudes dos pontos (plano médio).
- d) Processamento com as equações de colinearidade inversa (equação 3), utilizando para todas as fotos um valor médio dos elementos orientação exterior angular e considerando conhecida as altitudes dos pontos (plano médio).
- e) Processamento com as equações de colinearidade inversa (equação 3), introduzindo erros nos elementos orientação exterior angular e considerando conhecida as altitudes dos pontos (plano médio).

Todos os processamentos foram realizados com programas computacionais desenvolvidos nos Laboratórios do Departamento de Cartografia da FCT/Unesp.

Experimento (a)

Este experimento foi realizado com a finalidade de gerar informações para dar subsídios aos demais processamentos. Os pontos de apoio, cujas coordenadas deveriam ser convertidas para o sistema geodésico local foram utilizados no sistema UTM – WGS 84, devido as pequenas dimensões da áreas do experimento.

Na figura 06 é mostrada uma das imagens, cujas coordenadas foram coletadas por um monocamparador digital, desenvolvido nos Laboratórios do Departamento de Cartografia.

FIGURA 06 – IMAGEM DA ÁREA TESTE COM SOJA



Experimento (b)

Este experimento foi realizado utilizando-se os valores obtidos no experimento (a), considerando o conhecimento dos CPs. Nesta simulação considero-se o centro de fase da antena GPS e o CP coincidentes. Essa é uma aplicação prática, pois não precisa modificar o programa de fototriangulação e aplica-se essa redução no CF e introduz uma injunção posicional nas coordenadas do CPs. Na Tabela 01 são apresentados as médias das diferenças, desvios padrão e discrepâncias máximas entre as coordenadas dos pontos conhecidos e as ajustadas, que não foram utilizados como apoio no processo de fototriangulação.

TABELA 01 – ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS: FOTOTRIANGULAÇÃO COM INJUNÇÃO NO CP

	Média(m)	Desvio (m)	Discrepâncias(m)
X	-0.065	±0.446	-1.215
Y	-0.163	±0.223	-0.708
Z	0.024	±0.279	0.789

Experimento (c)

Este experimento foi realizado utilizando-se os valores obtidos no experimento (a), considerando o conhecimento dos centros de fase da antena GPS. Essas informações foram introduzidas no processo de fototriangulação como observações adicionais. Esse procedimento gera três incógnitas (item 3.1), neste caso, consideradas como nulas e com pesos altos (precisos). Na Tabela 02 são mostrados os resultados obtidos nesse experimento, calculadas de forma semelhante a tabela 01.

TABELA 02 – ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS: FOTOTRIANGULAÇÃO COM INJUNÇÕES NO CENTRO DE FASE DA ANTENA GPS.

	Médias (m)	Desvios (m)	Disc. Máxima (m)
X	0.021	±0.212	0.622
Y	-0.063	±0.117	-0.349
Z	0.008	±0.128	-0.293

Comparando-se os valores das tabelas 01 e 02, verifica-se que os valores da tabela 02 indicam melhores resultados, isso se deve ao processamento utilizando o centro de fase da antena GPS como observação o que não restringem a “acomodação” simultânea dos CPs, pontos de apoio e pontos de enlace de forma a atender os resíduos mínimos no processo de ajustamento. Ainda, verifica-se que as informações dos CFs aumenta o número de observações e conseqüentemente aumenta a confiabilidade do ajustamento (maior grau de liberdade).

Experimento (d)

Este experimento foi realizado aplicando-se as equações de colinearidade inversa em uma única foto, utilizando-se os valores dos elementos de orientação exterior obtidos no experimento (c) e considerando a superfície terrestre como plana. Na Tabela 03 são mostrados os resultados obtidos nesse experimento.

TABELA 03 – ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS: COLINEARIDADE INVERSA – CALCULADAS PARA TODAS AS OBSERVAÇÕES.

	Médias (m)	Desvios (m)	Disc. Máxima(m)
X	0.090	± 0.717	1.257
Y	-0.027	± 0.235	0.732

A tabela 03 foi montada calculando-se as médias das diferenças, os desvios padrão e as discrepâncias máximas entre as coordenadas dos pontos de apoio e os pontos calculados no experimento. As coordenadas dos pontos foram calculadas foto a foto para compor a estatística dos resultados.

Experimento (e)

Este experimento foi realizado aplicando-se as equações de colinearidade inversa, utilizando os elementos de translação de orientação (posição da câmara) - obtidos no experimento (c), e a média dos elementos de orientação angular (atitude da câmara) e considerando a superfície terrestre como plana. Esses valores foram aplicados em todas as fotos da faixa. Na Tabela 04 são mostrados os resultados obtidos nesse experimento.

TABELA 04 – ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS: COLINEARIDADE INVERSA COM ATITUDE MÉDIA – CALCULADAS PARA TODAS AS FOTOS.

	Médias (m)	Desvios (m)	Disc. Máxima (m)
X	-0.144	± 2.857	6.278
Y	0.150	± 1.128	3.609

Os resultados mostrados na Tabela 04 simulam o caso onde a atitude da câmara é desconhecida. Neste caso, foi utilizado o valor médio das atitudes encontradas no experimento (c). Os valores encontrados na Tabela 04 mostram que são viáveis para aplicações em agricultura de precisão. O posicionamento das máquinas agrícolas nas aplicações é monitorado, geralmente, pelo DGPS, que no dias atuais atingem uma exatidão de 1 a 5 m. Esse caso pode ser associado ao processo quando as imagens não são orientadas angularmente, pois dependendo da escala da imagem e o estágio da cultura de soja é impossível encontrar pontos para fototriangulação.

As influências dessas discrepâncias apresentadas na tabela 04 podem estar ligadas as grandes variações de atitude entre as imagens. Na tabela 05 pode-se verificar essas discrepâncias.

TABELA 05: VALORES DAS ATITUDES DAS IMAGENS.

Ângulo	ω (rad.)	ϕ (rad.)	κ (rad.)
Média	-0.44285	-0.99509	-2.25183
Max.	-0.23711	-0.71453	-1.94883
Min.	-0.69736	-1.18619	-2.57477
Discr. Máx.	0.25451	-0.28056	0.322938

Os valores da Tabela 05 mostram uma grande variação na inclinação da câmara nas tomadas fotográficas, resultando em: $\Delta\omega = 14^{\circ} 34'$; $\Delta\phi = 16^{\circ} 04'$; e $\Delta\kappa = 18^{\circ} 30'$. Esses valores são elevados para o caso aéreo, pois no caso da aerofotogrametria convencional adota-se para as tomadas inclinações angulares de no máximo 3 graus. Para as tomadas com câmaras de pequeno formato, geralmente a bordo de aviões de pequeno porte, esse valor pode ser superado. Para tanto, poderia se adotar um valor um pouco mais flexível – como por exemplo o dobro do convencional. Para verificar essa influência novos experimentos foram realizados, cujos resultado estão ilustrados na tabela 06.

Experimento (f)

Este experimento foi realizado aplicando-se as equações de colinearidade inversa, utilizando os elementos de translação (posição da câmara) - obtidos no experimento (c), provocando um erro nos elementos de orientação angular (atitude da câmara) e considerando a superfície terrestre como plana. Esses valores foram aplicados em todas as fotos da faixa. Na Tabela 06 são mostrados os resultados obtidos nesse experimento.

TABELA 06: ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS: COLINEARIDADE INVERSA COM ERRO NOS ÂNGULOS – CALCULADAS PARA TODAS AS FOTOS.

Erro			MédiaS		Desvios		Discrepâncias Máximas	
ω (graus)	ϕ (graus)	κ (graus)	X(m)	Y(m)	X(m)	Y(m)	X(m)	Y(m)
3 ⁰	3 ⁰	3 ⁰	1.693	-0.410	0.353	0.277	2.621	1.343
6 ⁰	6 ⁰	6 ⁰	4.038	-0.892	0.726	0.534	6.229	2.06
6 ⁰	0 ⁰	0 ⁰	0.542	-0.848	0.702	0.417	1.637	2.041
0 ⁰	6 ⁰	0 ⁰	3.190	-0.002	0.668	0.340	5.320	0.784
0 ⁰	0 ⁰	6 ⁰	-0.083	0.027	0.827	0.245	1.686	0.742

Pela tabela 06 nota-se que uma inclinação angular de 6 graus nos três ângulos provoca um erro da mesma magnitude da tabela 04, o que pode ser um indicativo do limite de inclinação para essa configuração.

4. DISCUSSÕES E CONCLUSÕES

O presente trabalho além de fornecer subsídios práticos para a implementação do sistema a ser aplicado em Agricultura de Precisão, proporciona a experimentação prática para aplicações em aerolevantamentos. Proporciona também o embasamento prático para o mapeamento fotogramétrico, utilizando uma técnica relativamente nova, buscando sempre a automação ou a diminuição do custo operacional do processo de mapeamento.

Verificou-se, neste trabalho, que em produção de soja cultivadas em grandes áreas é impossível realizar algumas operações fotogramétricas, devido a impossibilidade da utilização do recurso de estereoscopia, pois a superfície tem o mesmo comportamento de um espelho d'água ou duna.

Experimentos com sistemas aerotransportados são necessários para verificar a viabilidade desse procedimento em aplicações na agricultura que não necessitem de pontos de apoio, de forma a dar subsídios confiáveis à tomada de decisão para futuras ações em agricultura.

Neste sentido, para trabalhos futuros, espera-se realizar aplicações em agricultura com plataformas aéreas; buscando eliminar pontos de apoio na superfície terrestre e aplicar técnicas e modelos matemáticos alternativos.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

COLOMINA, I., **Combined adjustment of photogrammetric and GPS data.** Proceeding of 42st photogrammetric week of Stuttgart University, Stuttgart, p. 313-328, 1989.

FRICKER, P.; SANDAU, R.; WALKER, S. **Multispectral sensor with photogrammetric precision: airborne digital tree-lines sensor.** GIM International, pp. 49-51, 1999.

HASEGAWA, J. K.; IMAI, N. N.; MONICO, J. F. G.; CAMARGO, P. O. **Integração de sensores para mapeamentos rápidos na Agricultura de Precisão: desenvolvimento e calibração do sistema.** In: Simpósio Brasileiro de Geomática, Anais em CD-ROM, Presidente Prudente, 2002, 259-268.

LUGNANI, J. B. **Introdução à Fototriangulação.** UFPR. 134 p. Curitiba PR. 1987.

RICHTER, R. and SCHLÄPFER, D. **Geo-atmospheric processing of airborne imaging spectrometry data. Part 2: atmospheric/topographic correction.** International Journal on Remote Sensing, V. 23 (13), pp. 2631-2649, 2002.

SCHLÄPFER, D. and RICHTER, R. **Geo-atmospheric processing of airborne imaging spectrometry data. Part 1: parametric orthorectification.** International Journal on Remote Sensing, V. 23 (13), pp. 2609-2630, 2002.

WOLF, P. R. **Elements of Photogrammetry.** McGraw-Hill Book Company 1988.

6. AGRADECIMENTOS

À Embrapa soja pela realização de experimentos com objetivos integrados.

Aos pesquisadores e técnicos da Embrapa por nos fornecerem suporte para a coleta de dados.

Aos alunos do curso de Engenharia Cartográfica: Daniel Luis de Lima, Lauriana Rúbio Sartori, Paulo Sérgio da Silva Victorino pela ajuda na realização do trabalho.

Ao Laboratório de Geodésia Espacial pelos receptores GPS.

Agradecimento especial ao Eng. Cart. Ítalo Tsuchiya pelo suporte técnico inestimável.

CLASSIFICAÇÃO DE UMA IMAGEM IKONOS UTILIZANDO AS TÉCNICAS “PIXEL A PIXEL” E A ANÁLISE ORIENTADA A REGIÃO

Ítalo Cavassim Junior ¹
Jorge Centeno ²

1 Universidade Federal do Paraná – italo@geoc.ufpr.br

2 Universidade Federal do Paraná – centeno@ufpr.br

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo realizar uma classificação supervisionada de uma imagem do sensor IKONOS, utilizando o método de classificação “pixel” a “pixel” e o método de classificação baseado em regiões, comparando os dois resultados. O primeiro método a ser realizado foi o de classificação “pixel” a “pixel”. A técnica utilizada para a classificação dos “pixels” foi a da Máxima Verossimilhança. A segunda classificação foi efetuada utilizando-se a análise orientada ao objeto. Para a metodologia baseada na análise por região, ou orientada ao objeto, o primeiro processo a ser realizado nessa abordagem é a segmentação da imagem. Foram efetuadas várias segmentações até que a quantidade de regiões fosse necessária para agrupar as classes de interesse definidas “a priori”. Essas regiões segmentadas devem ser suficientemente pequenas de maneira que, possam representar no mínimo a cobertura das casas presentes na imagem. Comparando-se os resultados das duas metodologias conclui-se que, no método “pixel” a “pixel” a imagem classificada ficou com ruídos e no método de classificação orientado ao objeto as classes ficaram mais homogêneas, isto ocorreu devido ao fato da segmentação realizada na imagem ter agrupado os “pixels” mais correlacionados.

Palavras-chave: Sensoriamento Remoto, Classificação, Resolução Espacial

ABSTRACT

This work had as objective accomplishes a supervised classification of an image of sensor IKONOS, using the method of classification "pixel" the "pixel" and the classification method based on areas, comparing the two results. The first method to be accomplished was it of classification "pixel" the "pixel". The technique used for

the classification of the "pixels" was the one of the MáxVer. The second classification was made being used the analysis guided to the object. For the methodology based on the analysis by area, or guided to the object, the first process the being accomplished in that approach is the segmentation of the image. Several segmentations were made until that the amount of areas was necessary to contain the classes of interest defined. Those segmented areas should be sufficiently small so that, they can act at least the covering of the present houses in the image. Being compared the results of the two methodologies is ended that, in the method "pixel" the "pixel" the classified image was with noises and in the classification method guided to the object the classes were more homogeneous, this happened due to the fact of the segmentation accomplished in the image to have contained the "pixels" more correlated.

Keywords : Remote Sensing, Classification, Space Resolution

1. INTRODUÇÃO

O processo de classificação de imagens é de grande importância na extração de informações de imagens de Sensoriamento Remoto. A classificação das imagens de satélites multiespectrais consiste da associação de cada pixel da imagem a um "rótulo" que descreve um objeto real (vegetação, solo, etc.). Assim, os valores numéricos associados a cada pixel, definidos pela reflectância dos materiais que compõem esse pixel, são identificados em termos de um tipo de cobertura da superfície terrestre imageada (água, tipo de solo, de vegetação, etc.), podendo ser chamadas de temas ou classes.

Quando esse tipo de operação é efetuado para todos os pixels de uma determinada área, o resultado é um mapa temático, mostrando a distribuição geográfica de uma classe, como por exemplo, a vegetação. No entanto "pixel a pixel" não é a única opção para o problema da classificação. Uma alternativa é a classificação orientada a regiões, onde grupos de pixels são analisados em lugar de pixels isolados.

Com o aparecimento de sensores de alta resolução no sensoriamento remoto, a eficiência da classificação "pixel a pixel", tradicionalmente usada, está sendo questionada, pois o alto grau de detalhe destas imagens torna evidente variações espectrais entre os objetos que antes, com resolução espacial mais grosseira, não eram vistas. Ao mesmo tempo tornam-se visíveis os contornos dos objetos, o que propicia a identificação de cada um deles em lugar de uma região ocupada por vários objetos similares, como ocorria nas imagens de resolução espacial média. Assim, fica aberta a escolha do método mais apropriado para a extração de informações temática de imagens de alta resolução espacial.

O objetivo deste estudo é efetuar uma comparação de abordagem “pixel a pixel” e a orientada a objeto, verificando as vantagens de cada uma delas.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A informação espectral de uma cena pode ser representada por uma imagem espectral, onde cada "pixel" tem as coordenadas espaciais x , y e a coordenada espectral L , que representa a radiância de um alvo no intervalo de comprimento de onda de uma banda espectral. Cada "pixel" de uma banda possui uma correspondência espacial com um outro "pixel", em todas as outras bandas, ou seja, para uma imagem de K bandas, existem K níveis de cinza associados a cada "pixel", sendo um para cada banda espectral (CURRAN, 1995). O conjunto de características espectrais de um "pixel" é denotado pelo termo "atributos espectrais".

O método de classificação mais conceituado é o método supervisionado, pois nele o usuário pode definir as classes de interesse e guiar a classificação através da escolha de amostras. O método supervisionado se inicia a partir de um certo conhecimento da área de estudo, adquirido por experiências anterior ou por trabalho de campo. Este método envolve três passos básicos. O treinamento é onde são identificadas as áreas de treinamento e onde há uma descrição dos atributos de cada tipo de cobertura de interesse na cena. É importante que a área de treinamento seja uma amostra homogênea da classe respectiva, mas ao mesmo tempo deve-se incluir toda a variabilidade do tema em questão (NOVO, 1995). Na classificação o elemento é atribuído a uma das classes em questão em função de seus atributos. A apresentação do resultado podem ser usados de diferentes maneiras. Três formas típicas de produtos são os mapas temáticos, tabelas com dados estatísticos para várias classes de cobertura de solo e dados para posterior utilização em geoprocessamento (NOVO, 1995).

A classificação supervisionada necessita de um conjunto inicial de informações sobre as classes a serem classificadas. Esses conjuntos iniciais são denominados de áreas de treinamento. Estas áreas devem ser selecionadas na imagem levando-se em consideração informações disponíveis sobre a vegetação da região, dados de campo, mapas e etc. Alguns procedimentos devem ser adotados a fim de selecionar áreas de treinamento representativas:

- a. As amostras com número de pixels suficientemente grande para permitir a estimativa das características espectrais das classes a serem mapeadas;
- b. Áreas de treinamento mais homogêneas possíveis;
- c. Interpretação prévia da imagem e de levantamentos de campo.

Conforme o processo de classificação empregado, os classificadores podem ser divididos em classificadores "pixel a pixel" e classificadores por regiões.

Classificadores "pixel a pixel" utilizam apenas a informação espectral, isoladamente, de cada pixel para achar a classe mais provável para o pixel. Estes

classificadores podem ser ainda separados em métodos estatísticos (que utilizam regras da teoria de probabilidade) e determinísticos (que não o fazem) (CHUVIECO, 1990).

Os classificadores por região agrupam “pixels” vizinhos com características similares e depois classificam estes agrupamentos (regiões) levando em consideração os atributos espectrais da região e o parâmetros espaciais que podem ser derivados da distribuição espacial dos “pixels” que formam a região. Estes classificadores procuram simular o comportamento de um fotointérprete, ao reconhecer áreas homogêneas de imagens, baseados nas propriedades espectrais e espaciais de imagens. A informação de borda é utilizada inicialmente para separar as regiões e as propriedades espaciais e espectrais que irão unir áreas com mesma textura (JENSEN, 2000).

O resultado de uma classificação é uma imagem temática onde cada classe é identificada por um índice ou cor (GONZALEZ, 2000). Para obter a imagem temática a partir das imagens espectrais é necessário estabelecer a relação entre os valores digitais e as classes. Esta não é uma tarefa simples, pois em alguns casos esta relação não é discreta.

3. METODOLOGIA

3.1 MÉTODO “PIXEL A PIXEL”

As técnicas de classificação multiespectral, “pixel a pixel”, mais comuns são: máxima verossimilhança (MAXVER), distância mínima e método do paralelepípedo

O método da máxima verossimilhança (Maxver) avalia quantitativamente tanto a variância quanto a covariância dos padrões espectrais de cada pixel durante a classificação. Inicialmente, supõe-se que a distribuição dos pixels que formam os dados de treinamento é Gaussiana (distribuição normal), figura 01. Deste modo, os padrões de resposta podem ser descritos por um vetor de médias e uma matriz de covariância. De posse destes parâmetros, pode-se calcular a probabilidade de um dado pixel pertencer a um tipo particular de cobertura do solo (JENSEN, 2000), segundo a seguinte regra:

O pixel “x” pertence a classe w_i se

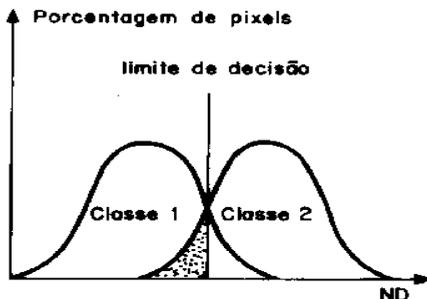
$$P(w_i|x) > p(w_j|x) \text{ com } i > j$$

$$\text{Onde } p(w_i|x) = [p(w) * p(x|w_i)] / p(x)$$

A figura 01 apresenta o limite de aceitação de uma classificação, no ponto onde as duas distribuições se cruzam. Desta forma, um “pixel” localizado na região

sombreada, apesar de pertencer à classe 2, será classificado como classe 1, pelo limite de aceitação estabelecido.

FIGURA 01 – DADOS DE TREINAMENTO É GAUSSIANA (DISTRIBUIÇÃO NORMAL)



O limiar de aceitação indica a porcentagem de "pixels" da distribuição de probabilidade de uma classe que será classificado como pertencente à esta classe. Um limite de 99%, por exemplo, engloba 99% dos "pixels", sendo que 1% serão ignorados (os de menor probabilidade), compensando a possibilidade de alguns "pixels" terem sido introduzidos no treinamento por engano, nesta classe, ou estarem no limite entre duas classes. Um limiar de 100% resultará em uma imagem classificado sem rejeição, ou seja, todos os "pixels" serão classificados (CHUVIECO, 1990).

Para diminuir a confusão entre as classes, ou seja, reduzir a sobreposição entre as distribuições de probabilidades das classes, aconselha-se a aquisição de amostras significativas de alvos distintos e a avaliação da matriz de classificação das amostras.

3.2 ANÁLISE BASEADA EM REGIÕES

A análise baseada em regiões não considera apenas um pixel isoladamente, mas divide a imagem em segmentos uniformes, considerados objetos primitivos da imagem, os quais são tratados, a partir deste ponto, como unidades, sendo possível levar-se em conta suas características espectrais, a forma e outras variáveis espaciais que não poderiam ser consideradas numa análise "pixel a pixel"(RIBEIRO, 2002). Existem várias opções para efetuar a segmentação de uma imagem. Os algoritmos de segmentação mais comuns são baseados na análise de descontinuidade e/ou da similaridade da informação espectral ao longo da imagem. Na primeira categoria a abordagem é particionar a imagem baseando-se em mudanças bruscas nos níveis de cinza. As técnicas de detecção de linhas e bordas na imagem são as mais conhecidas no primeiro grupo. A segunda categoria inclui técnicas de limiarização, crescimento de regiões e divisão e fusão de regiões (GONZALES, 2000). No presente estudo foi

utilizada a segmentação multiresolução que a partir de um pixel “semente” utiliza a técnica de crescimento de regiões.

A segmentação numa primeira instância é determinada por um grau de homogeneidade que permita um agrupamento de pixels de acordo com uma resolução o mais fina possível. O critério de semelhança é usado para definir a uniformidade dos segmentos. Dois critérios são usados para descrever a separação do objeto da imagem: critério da cor (espectral) e o critério da forma (suavização e compactação) (ANTUNES, 2003).

Os segmentos são discriminados por meio de variáveis espectrais e/ou espaciais. As variáveis espectrais podem ser o “brilho”, o valor médio, a razão, etc; e pode-se citar como variáveis espaciais o comprimento, a largura, a direção principal, dentre outros.

4. MATERIAIS UTILIZADOS

Os materiais utilizados neste trabalho foram:

- Uma imagem do sensor Ikonos da região do balneário de Caiobá com uma dimensão de aproximadamente 400x400 pixels.
- Um computador Pentium III, 128Mb e HD com 40 Gb.
- software ENVI 3.4
- software Ecognition.

Utilizou-se o software ENVI 3.4 para mostrar o processo “pixel a pixel” e o Ecognition para demonstrar o processo de classificadores por região.

5. EXPERIMENTOS

5.1 CLASSIFICAÇÃO “PIXEL A PIXEL”

O primeiro método a ser realizado foi o de classificação pixel a pixel. Foram determinadas primeiramente quais seriam as regiões a serem classificadas. Devido a imagem ser de alta resolução aparecem muitas regiões com sombra, o que dificulta a sua classificação. Isto pode ser visto na Figura 02. A imagem foi dividida em seis classes distintas onde estas representam de forma satisfatória a imagem. A técnica utilizada para a classificação dos “pixels” foi a da Máxima Verossimilhança. O resultado destas classes é mostrado na figura 03.

FIGURA 02 – IMAGEM DO SENSOR IKONOS DO BALNEÁRIO DE CAIOBÁ – PR



A precisão global para esta classificação foi de 98.6207%, ou seja, dos 435 “pixels” selecionados, 429 estavam na classe correta, mostrando que a estatística da imagem foi satisfatória. A tabela 01 apresenta a distribuição de porcentagem de “pixels” classificados.

As estatísticas da imagem nos mostraram que a classificação “pixel” a “pixel” foi satisfatória, apesar de que em algumas áreas notou-se uma confusão entre as classes, isto ocorreu devido a heterogeneidade entre os “pixels” e a alta resolução da imagem, com o aparecimento de sombras e muitos detalhes, tornando assim difícil compreensão do produto final ou seja da classificação.

FIGURA 03 – IMAGEM CLASSIFICADA PELO MÉTODO “PIXEL A PIXEL”.

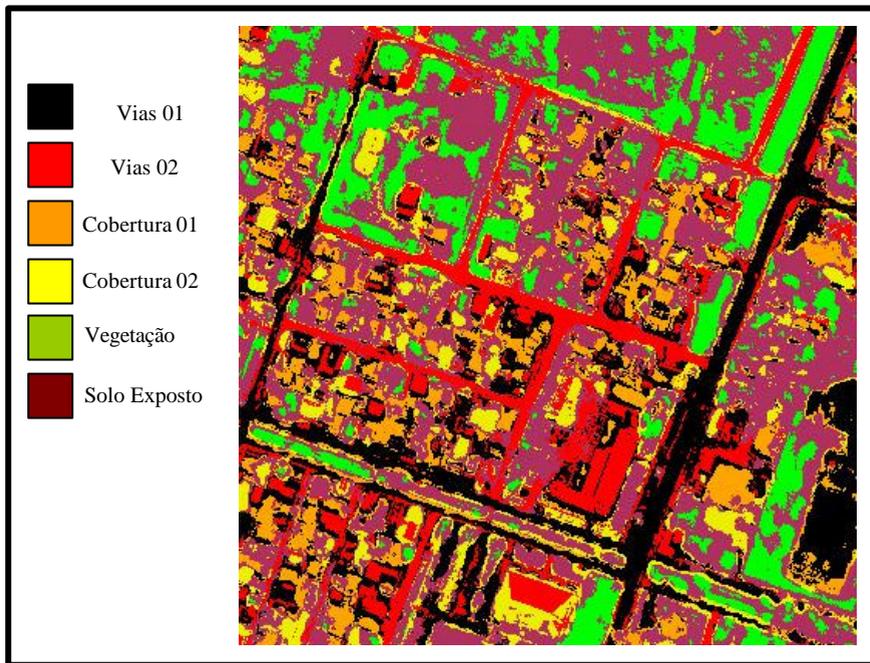


TABELA 01 - MATRIZ DE CLASSIFICAÇÃO COM A DISTRIBUIÇÃO DE PORCENTAGEM.

Classes	A	B	C	D	E	F	TOTAL
A	100	0	0	0	0	0	18.16
B	0	95.59	0	0	0	0	14.94
C	0	0	96.08	0	0	0	11.26
D	0	4.41	0	98.95	0	0	22.30
E	0	0	0	0	100	0	9.20
F	0	0	3.92	1.05	0	100	24.14
TOTAL	100	100	100	100	100	100	435

As classes de A até F na tabela 01 representam respectivamente a Vias 01, Vias 02, Cobertura 01, Cobertura 02, Vegetação e Solo Exposto.

Uma matriz de classificação ideal deve apresentar os valores da diagonal principal próximos a 100%, indicando que não houve confusão entre as classes. Contudo, esta é uma situação difícil em imagens com alvos de características espectrais semelhantes. O valor fora da diagonal principal, por exemplo, o 4.41 (linha 4 e coluna 2), significa que 4.41% da área da classe "Cobertura 02"

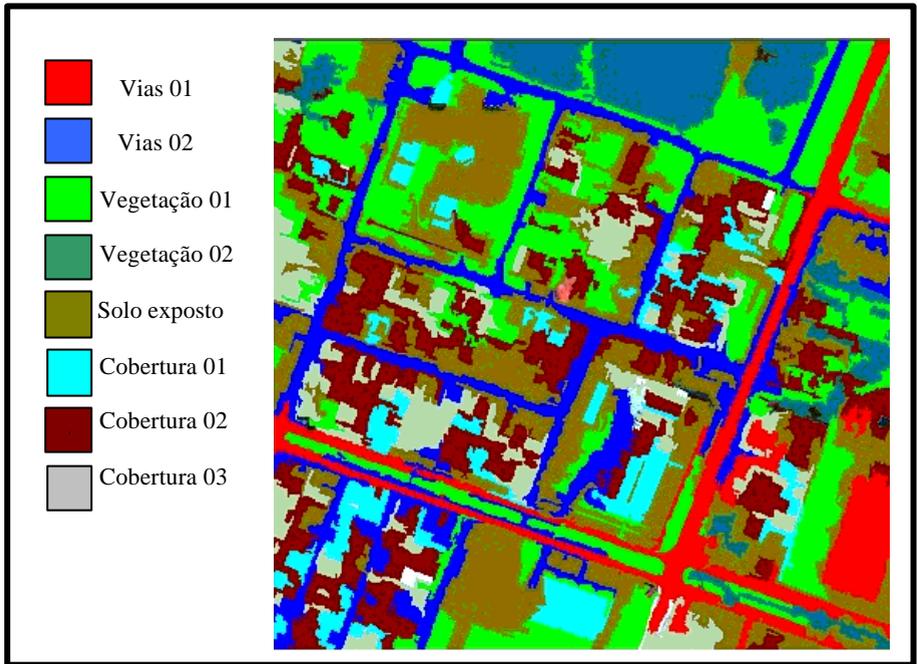
amostrada, foi classificada como pertencente à classe “Vias 02”. O mesmo raciocínio deve ser adotado para os outros valores.

5.2 CLASSIFICAÇÃO POR REGIÃO.

Para o método de classificação por região, ou orientado ao objeto, o primeiro processo a ser realizado é a segmentação da imagem. A técnica utilizada foi a segmentação multiresolução. A imagem foi dividida em sete classes devido a segmentação realizada a priori na imagem, ficando com uma classe a mais que a classificação realizada no método “pixel a pixel”.

Utilizando o método de classificação baseado em região, foi difícil a compreensão devido a confusão ocorrida no domínio espectral (níveis de cinza) e espacial (de forma) quando da segmentação da imagem “IKONOS” analisada. Devido a este fato, houveram regiões na imagem onde ocorreram confusão entre as classes, principalmente nas coberturas das edificações que foram segmentadas erroneamente, como por exemplo, em um telhado que deveria ser agrupado numa única região e foi segmentado em mais partes devido a diferença de cor. Houveram problemas ainda no agrupamento entre edificações adjacentes devido a presença de sombra entre duas construções, essas deveriam ser agrupadas separadamente e devido a sombra foram consideradas como região única. Apesar dos problemas na segmentação das edificações, observou-se que na classificação orientada ao objeto obteve-se um resultado melhor que a classificação “pixel” a “pixel”.

FIGURA 04 – IMAGEM CLASSIFICADA PELO MÉTODO DE REGIÃO.



6. CONCLUSÃO

O sensoriamento remoto desempenha um papel fundamental em áreas bastante distintas de atuação, principalmente no mapeamento, cadastramento e monitoramento de recursos naturais. Entre as técnicas de processamento de imagens digitais citadas, a classificação pode ser considerada a técnicas de processamento de imagens digitais mais importante na obtenção de informações específicas. Para que se estabeleça um nível de confiança no processo classificatório utilizado, os resultados da classificação devem ser avaliados. As formas de avaliação mais comuns são o índice Kappa e a matriz confusão. Nos testes realizados usando a abordagem “pixel a pixel” obteve-se uma classificação não foi satisfatória. Devido ao aparecimento de sombras e confusão espectral entre os alvos tornando-se difícil a compreensão do produto final. Já nos testes realizados com a abordagem orientada a objeto, apesar de algumas classes term ficados confusas, o resultado do mapa temático foi melhor que da abordagem “pixela pixel”. Como foi verificado nas figuras 03 e 04 o resultado obtido com as técnicas de classificadores por região foi melhor que a “pixel a pixel”.

Na abordagem orientada ao objeto, os objetos encontram-se melhores definidos espacialmente o que não ocorre no método “píxel a píxel”, onde estes encontram-se com ruídos. Os erros de segmentação na classificação orientada ao objeto não são corrigidos na classificação, sendo necessário uma boa segmentação e uma boa definição das classes para que a classificação seja satisfatória. No método de classificação “píxel a píxel” é necessário uma ótima definição das amostras.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANTUNES, A. F. B. **Classificação de Ambiente Ciliar Baseada em Orientação a Objeto em Imagens de Alta Resolução Espacial**. Tese de doutoramento – Curso de Pós-graduação em Ciências Geodésicas – Universidade Federal do Paraná, Curitiba-PR. 2003

ARONOFF, S. **Classification accuracy: A user approach**. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Maryland, v.48, n.8, p.1299-1307, Aug. 1982.

CHUVIECO, Emilio. **Fundamentos de Teledetección Espacial**; Ediciones Rialp S.A.; Madrid; Espanha; 1990.

CURRAN, P. J. **Principles of Remote Sensing**; Longman Scientific & Technical: New York; Estados Unidos; 1995

GONZALEZ, R. C.; WOODS, R.E. , 2000. **Processamento de Imagens Digitais**. São Paulo: Edgard Blucher

JENSEN, John R.. **Introductory Digital Image Processing. A Remote Sensing Perspective** , Prentice Hall, New Jersey; Estados Unidos, 2000.

NOVO, E.M.L.M. **Sensorimento Remoto. Curso de Especialização em Geoprocessamento**; UFRJ, IGEO Departamento de Geografia, LAGEOP, Rio de Janeiro, 1999, Volume 2.

RIBEIRO, S. R. A. **Integração de Imagens de Satélite e dados Complementares para a Delimitação de unidades de Paisagem Usando uma Abordagem Baseada em Regiões**. Boletim de Ciências Geodésicas, v. 8 nº 1, p. 47-57, 2002.

ESPECTRORADIOMETRIA DE CAMPO NO VISÍVEL E INFRAVERMELHO PRÓXIMO: UM ESTUDO DA RESPOSTA ESPECTRAL DA SOJA

Nilton Nobuhiro Imai¹
Lauriana Rúbio Sartori²
Eduardo Alves da Silva³
Maria de Lourdes Bueno Trindade Galo¹

- 1 Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas – nnimai,mlourdes}@prudente.unesp.br
- 2 Curso de Graduação em Engenharia Cartográfica – lauriana@prudente.unesp.br
- 3 Convênio Embrapa Soja – Londrina – edusilva@fca.unesp.br

RESUMO

Com o propósito geral de estimar o período mais adequado (estádio de desenvolvimento) para adquirir dados multiespectrais, de forma que tenham alta correlação com o rendimento da cultura, concebeu-se um experimento de campo, no qual o instrumento de medida radiométrica adotado constitui-se da própria câmara multiespectral que será usada nos levantamentos aéreos. Nesse contexto, o presente trabalho tem o objetivo de apresentar um método alternativo concebido para essa finalidade, assim como alguns resultados que demonstrem sua utilidade como indicador de fitomassa. Para viabilizar o estudo proposto, medidas radiométricas foram obtidas a partir de imagens adquiridas em diferentes estádios de desenvolvimento da soja, cultivada em área de latossolo roxo distrófico, na safra 2002-2003, na Embrapa Soja, em Londrina - Paraná. Esse levantamento foi viabilizado no contexto de um projeto de pesquisa interinstitucional em Agricultura de Precisão, envolvendo a Embrapa Soja; a Faculdade de Ciências Agrônômicas da Unesp, em Botucatu; e a Faculdade de Ciências e Tecnologia da Unesp, em Presidente Prudente, ambas em São Paulo. Uma avaliação dos resultados obtidos até então demonstram que o método adotado é consistente com conhecimento básico sobre as variações que ocorrem no comportamento espectral de uma cultura agrícola, observadas ao longo do seu ciclo de desenvolvimento.

Palavras-chave: Câmara Multiespectral; Resposta Espectral; Medida Radiométrica

ABSTRACT

The purpose of this study was evaluate the most suitable time interval to acquired multispectral images in order to the radiometric values has correlation with the soybean crop yield. A multispectral camera, that it will be used in the aerial surveys, was adopted as instrument of radiometric measurement. In that context, the aim of this work is to present an alternative method conceived for that purpose, as well as some results that demonstrate its usefulness. To make possible the proposed study, radiometric measures were extracted from images collected in different moments of the soybean development cycle. That crop was implanted in area of latossolo roxo distrófico, in the 2002-2003 crop, in Londrina - Paraná. That experiment was taken place in the context of a research project in Precision Farming, involving Embrapa Soja; Faculdade de Ciências Agronômicas of Unesp; and Faculdade de Ciências e Tecnologia of Unesp. An evaluation of the results obtained until now demonstrates that the adopted method is consistent with basic knowledge about the spectral variations that happen in the spectral responses along the crop development cycle.

Keywords: Multispectral Camara; Spectral Response; Radiometric Measurement

1. INTRODUÇÃO

Dados multiespectrais de sensoriamento remoto podem fornecer informações úteis à estimativa da produção de culturas agrícolas, e mesmo subsidiar o monitoramento de seu desenvolvimento. Isso porque o volume de fitomassa acumulado nas plantas se constitui num bom indicador das condições disponíveis ao desenvolvimento da cultura, além de estar diretamente relacionado à sua composição físico-química. Na cultura de soja, esse acúmulo de fitomassa pode ser avaliado pela taxa de incremento de matéria seca nas partes vegetativas (folhas, pecíolos e ramos), uma vez que com o decorrer dos estádios de desenvolvimento há uma gradativa transferência de matéria seca das partes vegetativas para vagens e grãos em formação. É esse acúmulo de matéria seca nos grãos que determina a produção e conseqüentemente o rendimento da cultura.

O presente trabalho baseia-se na hipótese de que os indicadores de fitomassa da soja, medidos em diferentes estádios de seu desenvolvimento, apresentam correlação com a reflectância espectral obtida em cada um desses estádios. Conseqüentemente, imagens multiespectrais adquiridas nesses estádios de desenvolvimento possibilitariam a espacialização da fitomassa, permitindo inferir sobre a variabilidade espacial do rendimento da cultura. Como deve haver alguma variação no grau de correlação entre o rendimento e a fitomassa estimada num estádio de

desenvolvimento da cultura, é melhor realizar levantamentos aéreos dessa cultura no período de melhor correlação.

Com o propósito geral de estimar o período mais adequado (estádio de desenvolvimento) para adquirir dados multiespectrais, levando em conta a dificuldade de modelar rendimento com a reflectância espectral, concebeu-se um experimento de campo, no qual o instrumento de medida radiométrica adotado constitui-se da própria câmara multiespectral que será usada nos levantamentos aéreos. Nesse contexto, o presente trabalho tem o objetivo de apresentar um método alternativo baseado na seleção de indicadores que possuam alto grau de correlação com a fitomassa. Para isso, serão desenvolvidos métodos e procedimentos que viabilizem os seguintes objetivos específicos:

- Selecionar as imagens em que a placa de referência, adotada como reflectância padrão, se encontra adequadamente posicionada em relação à fonte de radiação (sol) e ao sensor;
- Estabelecer critérios para selecionar elementos amostrais nas imagens e aplicá-los;
- Estimar os valores médios de radiância espectral, fator de reflectância e índice de vegetação para as bandas do vermelho e infravermelho próximo, a partir das amostras adquiridas;
- Construir diagramas que relacionem o fator de reflectância no infravermelho (IVP) e vermelho (V) e permitam comparar as respostas espectrais com o desenvolvimento da cultura.

2. RESPOSTA ESPECTRAL DE VEGETAÇÃO

O termo reflectância, conforme EIPHANIO (1989) *apud* MOREIRA (2001), é, geralmente, usado de forma ambígua para se referir duas medidas diferentes: a reflectância propriamente dita e o fator de reflectância. A reflectância, representada por 'ρ', é um número adimensional, resultante da razão entre o fluxo refletido e o incidente, sobre uma área de interesse. Esta medida, conforme MOREIRA (2001), deve levar em consideração o posicionamento do alvo, do sensor e da fonte de iluminação. Já o fator de reflectância é a razão entre o fluxo refletido por uma superfície amostral qualquer e o fluxo refletido, na mesma geometria, por uma superfície de referência padrão, conforme mostra a Equação 1.

$$FR(\%) = \frac{\text{medida tomada sobre o alvo}}{\text{medida da placa de referência}} * 100 \quad (1)$$

Para relacionar duas ou mais bandas espectrais, através de transformações que se utilizam da soma, diferença, razão ou qualquer outra combinação entre as bandas, foram desenvolvidos os índices de vegetação, medidas que expressam as características biofísicas da vegetação, tais como: Índice de Área Foliar - IAF,

fitomassa, peso da vegetação úmida, peso da vegetação seca, porcentagem de cobertura vegetal, produtividade, etc. Tais indicadores podem ser obtidos a partir de medidas radiométricas de campo, ou de dados orbitais, uma vez que realçam o contraste entre a vegetação e o solo (MOREIRA, 2001).

O pressuposto para a definição desse índice é a utilização de uma banda na qual haja um aumento na reflectância com o aumento da vegetação (infravermelho próximo - IVP) em relação à outra banda que registra um decréscimo na reflectância com o aumento da vegetação (vermelho - V).

Segundo MOREIRA (2001), na literatura são encontrados mais de cinquenta índices de vegetação, sendo os mais utilizados a Razão Simples e a Diferença Normalizada.

A Razão Simples é o índice de vegetação mais simples e útil. Corresponde à razão entre os índices de radiância (L) ou reflectância (ρ), transformados a partir dos valores digitais, representados em duas bandas, do infravermelho próximo e do vermelho. Segundo MOREIRA (2001), este índice de vegetação foi desenvolvido por PERSON E MILLER (1972) e define-se como sendo:

$$RazãoSimples = \frac{IVP}{V} \quad (2)$$

onde, IVP e V referem-se, respectivamente à reflectância nas faixas do infravermelho próximo e vermelho.

A utilização de razões como índice de vegetação permite que as mensurações radiométricas feitas em campo, correspondentes à radiância (L), possam ser usadas diretamente, sem que haja necessidade converte-las para dados de reflectância (ρ), quando se considera os valores de radiância obtidos de uma placa de reflectância padrão.

Nesse sentido, como razão entre as radiâncias (L) de duas bandas, designadas por IVP e V, difere da razão das reflectâncias (ρ) para essas mesmas duas bandas, pela razão de suas irradiâncias (E) nas bandas em questão, tem-se que:

$$\frac{L_{IVP}}{L_V} = \left(\frac{E_{IVP}}{E_V} \right) * \left(\frac{\rho_{IVP}}{\rho_V} \right) \quad (3)$$

A irradiância (E) pode ser obtida a partir de medidas feitas sobre uma placa de referência, cuja reflectância (ρ) é aproximadamente igual a 1, de modo que a conversão de radiância (L) para reflectância (ρ) deve considerar as medidas realizadas sobre essa placa de reflectância padrão.

Assim, a razão simples pode ser obtida a partir dos valores de radiância, com a introdução das leituras de radiância realizadas sobre a placa de padrão, conforme a expressão:

$$\left(\frac{\rho_{IVP}}{\rho_V} \right) = \left(\frac{L_{IVP}}{L_V} \right) * \left(\frac{L_{V_p}}{L_{IVP_p}} \right) \quad (4)$$

Segundo MOREIRA (2000) do ponto de vista matemático, a Razão Simples e a Diferença Normalizada (NDVI) apresentam equivalência funcional, por conterem o mesmo tipo de informações sobre os parâmetros biofísicos da cultura. No entanto, o NDVI, cuja formulação é expressa na Equação 5, é mais sensível à vegetação esparsa do que a razão simples.

$$DiferençaNormalizada = \frac{IVP - V}{IVP + V} \quad (5)$$

No caso do NDVI, a entrada de dados pode ser em radiância (L) ou reflectância (ρ) desde que, para essa última grandeza, sejam feitas as devidas transformações, levando-se em consideração as medidas feitas na placa.

3. FITOMASSA

A fitomassa é avaliada pela taxa de incremento de matéria seca nas partes vegetativas da planta de soja (folhas, pecíolos e ramos). De acordo com o artigo “*Como a planta de soja se desenvolve*”, cuja versão em português foi publicada no boletim POTAFOS nº 11, da EMBRAPA, essa taxa é pequena no início, aumentando com o desenvolvimento dos estádios vegetativos da cultura. É o acúmulo de matéria seca nas sementes que determina o rendimento da cultura, de modo que a fitomassa, em determinados estágios de desenvolvimento, pode se constituir em um bom indicador do rendimento da cultura. Os estádios vegetativos e reprodutivos da soja estão indicados no artigo citado anteriormente e reproduzidos na Tabela 1. Considerando o exposto, a partir dos estádios reprodutivos R3 e R5.5 há uma gradativa transferência de matéria seca das partes vegetativas da planta para as vagens e grãos em formação. No estágio reprodutivo 6.5, a semente está com aproximadamente 80% de sua matéria seca total.

TABELA 1. ESTÁDIOS VEGETATIVOS E REPRODUTIVOS DA SOJA
 FONTE: “*COMO A PLANTA DE SOJA SE DESENVOLVE*”, DO BOLETIM POTAFOS Nº 11

Estádios vegetativos	Estádios Reprodutivos
VE- Emergência	R ₁ - Início do florescimento
VC- Cotilédone	R ₂ - Pleno florescimento
V ₁ - Primeiro nó	R ₃ - Início da formação das vagens
V ₂ - Segundo nó	R ₄ - Plena formação das vagens
V ₃ - Terceiro nó	R ₅ - Início do enchimento das sementes
*	R ₆ - Pleno enchimento das vagens
*	R ₇ - Início da maturação
V _(n) - Enésimo nó	R ₈ - Maturação plena

4. SENSORIAMENTO REMOTO EM APLICAÇÕES AGRÍCOLAS

Os índices de vegetação, que melhor se correlacionam com a fitomassa da planta, são formados por combinações de dados espectrais obtidos no vermelho e infravermelho próximo, pois eles têm significativa correlação com o verde ou porções fotossinteticamente ativas das plantas (TUCKER & HOLBEN, 1980). Segundo o mesmo autor, outros trabalhos têm aplicado dados infravermelho próximo e vermelho a uma variabilidade de análises da vegetação. Isso mostra que esses dados são sensíveis às propriedades básicas da vegetação.

No experimento de TUCKER & HOLBEN (1980) foram coletados dados espectrais vermelho ($0.63 - 0.69\mu\text{m}$) e infravermelho ($0.775 - 0.825\mu\text{m}$) de um campo de soja instalado em solo arenoso. Os dados de radiância foram usados para obter a Razão Simples e a Diferença Normalizada que se apresentaram correlação com a fitomassa e índice de área foliar. Gráficos relacionando o índice de área foliar com a razão simples indicaram uma tendência linear, enquanto que a relação entre índice de área foliar e diferença normalizada apresentou-se não-linear.

Alguns trabalhos envolvendo dados de sensoriamento remoto para fins de Agricultura de Precisão são citados em Lamparelli et al. (2001). É o caso, por exemplo, de um projeto desenvolvido pela NASA (1998) – (National Aeronautics and Spaces Administration), em conjunto com o ARS (Agricultural Research Service) para monitorar o crescimento de uma cultura e adquirir dados de variabilidade das propriedades físicas do solo, fertilidade do solo, fisiologia da planta, medidas de reflectância espectral de folhas e aquisição de imagens de sensoriamento remoto não-orbital. Em um outro trabalho foi avaliado o uso de sensoriamento remoto orbital em agricultura de precisão, constatando que alguns índices de vegetação, como NDVI, apresentaram boas correlações com a produtividade de trigo.

5. MATERIAL E MÉTODO

O projeto de pesquisa em Agricultura de Precisão vem sendo desenvolvido em parceria com a EMBRAPA Soja, sendo que experimento relacionado com o presente trabalho foi instalado numa área de Londrina - PR . Devido à sua alta resistência e produtividade, a variedade de soja escolhida para o estudo foi a EMBRAPA-48, que foi semeada em solo latossolo roxo distrófico. A semeadura foi realizada em três épocas distintas em intervalos de, aproximadamente, 15 dias: 06/11/02, 19/11/02 e 06/12/03. Cada época contém 3 repetições, ou seja, numa mesma época de plantio foram semeadas 3 blocos. A soja foi semeada nesses blocos, sendo caracterizados pelas mesmas condições e critérios agronômicos de implantação.

Para a aquisição dos dados radiométricos foram realizadas cinco avaliações por época de semeadura utilizando-se, em cada avaliação, 10 parcelas experimentais. A

cultura foi mantida nas condições de campo, de modo que a época de plantio foi considerada como a única variável a influenciar na resposta espectral da planta, devido a diferenças na insolação.

Para a coleta dos dados radiométricos em campo, foi desenvolvida uma plataforma terrestre na qual se instalou uma câmara multiespectral Duncan Tech, configuração “colorido-infravermelho” (CIR), dotada de três detetores do tipo CCD (Charge Coupled Device), que permitem obtenção da resposta espectral dos alvos no intervalo entre 0,4 a 1,1 μm . Esse conjunto foi denominado de Sistema de Aquisição de Imagens Multiespectrais – SAIM. Simultaneamente à tomada dos dados nas parcelas experimentais, foram realizadas medidas radiométricas de uma placa de reflectância padrão, revestida com sulfato de bário (BaSO_4), o que viabilizou o cálculo de um fator de reflectância.

5.1. AQUISIÇÃO DOS DADOS MULTIESPECTRAIS E DE FITOMASSA

O levantamento em campo constou de uma série de avaliações utilizando o SAIM. As avaliações foram realizadas de 15 em 15 dias, aproximadamente, dependendo do tempo e clima, que deve ser ensolarado e sem chuvas. O fluxo de energia radiante incidente varia com o tempo e, como a câmara multiespectral possui recursos para controlar a quantidade de energia que incide sobre os detetores, os dados registrados mostram-se adequados à visualização e à análise quantitativa. A objetiva da câmara permite a seleção de uma abertura e definição manual do foco, enquanto que o tempo de exposição e o ganho podem ser controlados através de software. Assim, para uma determinada abertura, tempo de exposição, ganho e fluxo de energia eletromagnética incidente, é necessário registrar a resposta espectral para a placa de referência (reflectância padrão). Esses dados são usados para calibração dos dados radiométricos adquiridos.

A placa padrão, coberta com uma película de sulfato de bário, cuja resposta espectral no espectro visível e infravermelho refletido aproxima-se de 1 e se comporta como superfície de reflexão difusa, foi usada para estabelecer uma transformação que leva os valores quantizados de resposta espectral para um mesmo referencial.

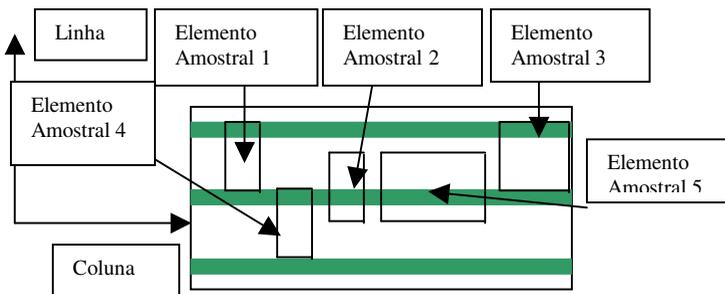
5.2. SELEÇÃO DAS IMAGENS E COLETA DAS AMOSTRAS

As imagens capturadas pela câmara foram analisadas a fim de se selecionar aquelas cuja radiância da placa de referência oferecia, visualmente, resultados adequados. Como já citado, a radiância independe do ângulo que o sensor captura a imagem. Entretanto, a placa recoberta com sulfato de bário deixa de apresentar comportamento lambertiano caso o ângulo zenital de observação seja elevado. Seu uso é indicado para ângulos de observação menores que 30° . Apesar de algumas

imagens terem sido prejudicadas por esse e outros tipos de problemas foi possível realizar coleta de amostras pois, uma única cena permite obter vários elementos amostrais da área experimental.

Levando-se em consideração que a soja foi cultivada com máquina agrícola cujas distâncias entre linhas de semeadura são iguais a 0,45 m, supõe-se, idealmente, que a quantidade de linhas na imagem que representam o intervalo entre duas linhas de plantio seja a mesma para todas as cenas. Assim, procurou-se definir uma quantidade aproximadamente igual de linhas na imagem que incluísse todo o espaço entre duas linhas de plantio (buscando representar a área ocupada ainda por solo, no estágio inicial e por folhas nos estágios mais avançados). A quantidade de colunas é indiferente, pois o conteúdo de cada coluna, idealmente, é o mesmo, conforme o esquema mostrado na Figura 1.

FIGURA 1. REPRESENTAÇÃO DOS ELEMENTOS AMOSTRAIS COLETADOS NAS IMAGENS



5.3. PROCESSAMENTO DOS DADOS AMOSTRAIS

Com auxílio do software IDL foram estimados valores médios dos níveis de cinza para as três bandas espectrais disponíveis. Esses valores médios equivalem às observações que poderiam ser realizadas com espectrorradiômetros de campo. Esses instrumentos são, usualmente, utilizados de forma que o campo de visada (FOV) define uma área de, aproximadamente, $0,5\text{m}^2$ no terreno ou um círculo cujo diâmetro aproximado é de 0,8m. As radiâncias (L) são determinadas para os elementos amostrais e para uma parte da área de placa.

O processamento dos dados constou inicialmente da estimativa da média e desvio padrão de cada elemento amostral, em cada avaliação e época de plantio. Em seguida estimou-se o fator de reflectância médio da amostra e respectivo desvio padrão. A partir desses valores foram calculados os índices de vegetação (Razão Simples e NDVI) médios, para cada amostra, de cada avaliação e plantio, além do respectivo desvio padrão. Esses desvios padrão médios dos índices de vegetação foram calculados à partir da aplicação da propagação de covariâncias (GEMAEL, 1994, 44).

6. RESULTADOS DO EXPERIMENTO

6.1. PROCESSAMENTO DE DADOS ESPECTRAIS

Para cada cena adquirida pela câmara multiespectral, foi realizada uma seleção de segmentos (elementos amostrais) cujos critérios foram apresentados no item 5.2.

A Tabela 2 apresenta as datas de semeadura e de plantio da cultura de soja dos blocos cultivados no experimento realizado.

TABELA 2. TABELA CONTENDO AS DATAS DE SEMEADURA E AVALIAÇÕES

Data	06/11	19/11	06/12 Avalia1	19/12 Avalia2	08/01 Avalia3	21/01 Avalia4	27/02 Avalia5
1	Plantio		30 dias	43 dias	63 dias	76 dias	113 dias
2		Plantio	17 dias	30 dias	50 dias	63 dias	100 dias
3			Plantio	13 dias	33 dias	46 dias	83 dias

As Tabelas 3, 4, 5, 6, 7 e 8 contém as médias amostrais estimadas para o fator de reflectância das bandas do vermelho - FR(V) e infravermelho próximo - FR(IVP); seus respectivos desvios padrão: S(FR(V)) e S(FR(IVP)); os índices de vegetação - IV: razão simples - RS e diferença normalizada - NDVI, bem como seus respectivos desvios padrão: S(RS) e S(NDVI), estimados a partir das médias amostrais de fator de reflectância, para cada um dos 3 plantios.

TABELA 3: MÉDIAS AMOSTRAIS DO FATOR DE REFLECTÂNCIA E SEUS DESVIOS PADRÃO

Avaliação	FR(V)	S (FR(V))	FR(IVP)	S (FR(IVP))
1	0,060136937	0,000753595	0,218864291	0,007689042
2	0,035545803	0,002874554	0,284827994	0,013186661
3	0,029548945	0,001932422	0,451591145	0,014040823
4	0,039552532	0,001442793	0,599095959	0,005045627
5	0,032683976	0,001771157	0,348637776	0,013097056

TABELA 4: MÉDIAS AMOSTRAIS DOS IV E RESPECTIVOS DESVIOS PADRÃO

Avaliação	Razão	S(razão)	NDVI	S(NDVI)
1	3,639431968	0,135749345	0,568912743	0,047128904
2	8,012985218	0,746679703	0,778097939	0,648066634
3	15,28281788	1,106661427	0,877171137	0,999461961
4	15,14684215	0,56706029	0,876136771	0,552525838
5	10,66693281	0,70335684	0,828575339	0,578074944

TABELA 5: MÉDIAS AMOSTRAIS DO FATOR DE REFLECTÂNCIA E SEUS DESVIOS PADRÃO

Avaliação	FR(V)	S (FR(V))	FR(IVP)	S (FR(IVP))
1	0,074246294	0,003137672	0,13231945	0,005803136
2	0,083941136	0,008083121	0,240227395	0,016023712
3	0,034671346	0,001812389	0,444179958	0,028520445
4	0,048382223	0,003691684	0,602681104	0,025226397
5	0,036402343	0,003182259	0,399327058	0,01261976

TABELA 6: MÉDIAS AMOSTRAIS DOS IV E RESPECTIVOS DESVIOS PADRÃO

Avaliação	Razão	S(razão)	NDVI	S(NDVI)
1	1,782169087	0,108542325	0,281136431	0,077975673
2	2,86185542	0,335239707	0,482114222	0,276769092
3	12,81115414	1,060724166	0,85518951	0,669738082
4	12,45666418	1,084093053	0,851374756	0,950491964
5	10,96981746	1,019710115	0,832913074	0,958983322

TABELA 7: MÉDIAS AMOSTRAIS DO FATOR DE REFLECTÂNCIA E SEUS DESVIOS PADRÃO

Avaliação	FR(V)	S (FR(V))	FR(IVP)	S (FR(IVP))
1	-	-	-	-
2	0,096337257	0,006282111	0,172768315	0,006916955
3	0,056541149	0,00432138	0,422168623	0,033455859
4	0,04526633	0,003051555	0,507512497	0,028925591
5	0,02679569	0,000790723	0,49737399	0,016004471

TABELA 8: MÉDIAS AMOSTRAIS DOS IV E RESPECTIVOS DESVIOS PADRÃO

Avaliação	Razão	S(razão)	NDVI	S(NDVI)
1	-	-	-	-
2	1,793369672	0,13722701	0,284018861	0,118384035
3	7,466573115	0,822054695	0,763776917	0,571642091
4	11,21169967	0,989744258	0,836222634	0,755866831
5	18,56171608	0,810409967	0,897759481	0,547752937

6.2. DIAGRAMAS DE DISPERSÃO DAS MÉDIAS DOS FATORES DE REFLECTÂNCIA

Os diagramas apresentados nas Figura 2, 3 e 4 representam as médias dos fatores de reflectância da banda do vermelho (FR(V)) versus a banda do infravermelho próximo (FR(IVP)) para cada plantio.

FIGURA 2: VALORES MÉDIOS DE FR(V) E FR(IVP) PARA O PLANTIO 1

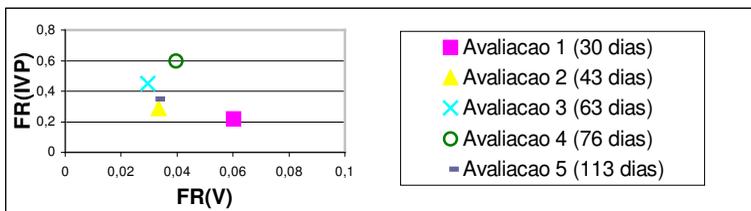


FIGURA 3: VALORES MÉDIOS DE FR(V) E FR(IVP) PARA O PLANTIO 2

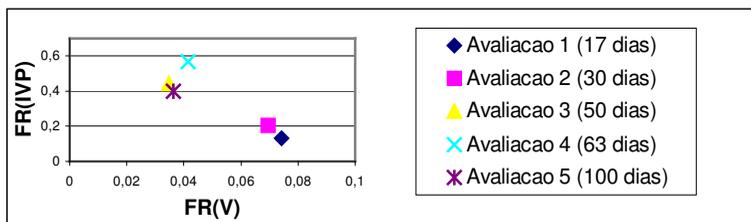
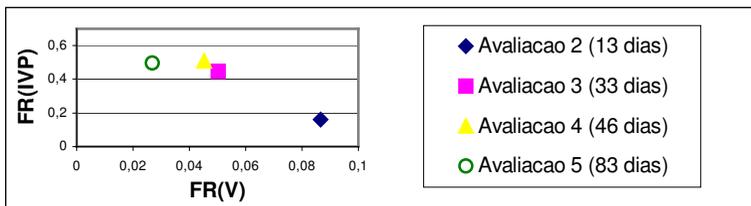


FIGURA 4: VALORES MÉDIOS FR(V) E FR(IVP) PARA O PLANTIO 3



As plantas de soja com aproximadamente 15 dias pouco se desenvolveram, com predominância da resposta do solo nas amostras, em relação à resposta da planta. Assim, pelos diagramas mostrados nas Figuras 2, 3 e 4, verifica-se que para esse período os valores de fator de reflectância no V e IVP são baixos.

A taxa de incremento de matéria seca na planta aumenta gradativamente até aproximadamente 45 dias, com a maior cobertura do solo pela planta. Observa-se pelos diagramas que, no início do ciclo de desenvolvimento da planta, o fator de reflectância no IVP é baixo devido à pequena quantidade de plantas e folhas. Com 30 dias ocorre um incremento no fator de reflectância no IVP, decorrente do aumento da quantidade de folhas, acompanhado pela diminuição no fator de reflectância no V, que pode estar associada à maior presença de plantas nas amostras e com a presença de clorofila responsável pela absorção da radiação V.

Uma análise dos resultados obtidos até então demonstram que o método adotado é consistente com o conhecimento básico sobre as variações que ocorrem no

comportamento espectral de uma cultura agrícola, observadas ao longo do seu ciclo de desenvolvimento. Em qualquer intervalo espectral, o desvio padrão estimado para o fator de reflectância médio é menor no início do desenvolvimento da cultura e aumenta até atingir um valor máximo. Em seguida, esse valor de dispersão indica uma diminuição nas variações da resposta espectral. Essa evolução no desvio padrão está associada ao próprio ciclo de desenvolvimento da cultura, a qual não cobre o solo quando é plantada. Após o brotamento, as plantas começam a cobrir o solo, modificando a resposta espectral. Ao atingir o maior desenvolvimento da fitomassa, grande parte do solo está coberto e a resposta espectral predominante provém dessa cobertura vegetal. Apesar das variações decorrentes da integração de respostas de planta, solo e sombra, a variabilidade espacial da resposta espectral diminui um pouco nesse estágio de desenvolvimento. Em seguida, a variabilidade da resposta espectral média aumenta, em decorrência do início do processo de senescência, quando a matéria seca acumulada é transferida para vagens e grãos, enquanto a clorofila diminui a atividade fotossintética.

As estimativas das médias e desvios padrão obtidos para os índices de vegetação são mostradas graficamente nas Figuras 5 e 6, para a razão simples e Figuras 7 e 8 para o NDVI.

FIGURA 5: MÉDIAS ESTIMADAS PARA RAZÃO SIMPLES EM CADA AVALIAÇÃO E PLANTIO

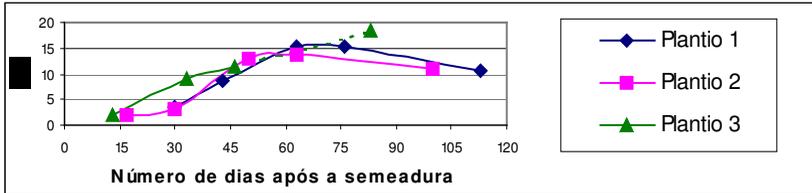


FIGURA 6: DESVIO PADRÃO DA RAZÃO SIMPLES PARA CADA AVALIAÇÃO E PLANTIO

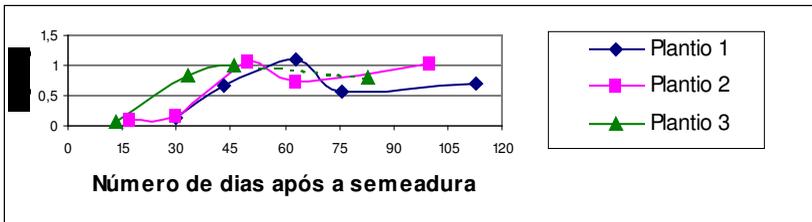


FIGURA 7: MÉDIAS ESTIMADAS PARA O NDVI EM CADA AVALIAÇÃO E PLANTIO

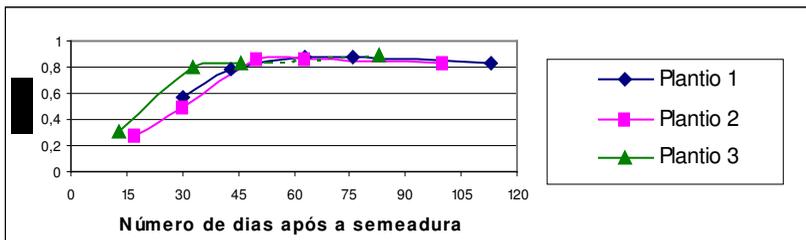
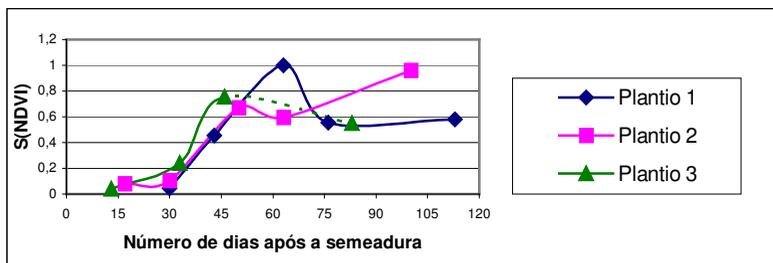


FIGURA 8: DESVIO PADRÃO DO NDVI PARA CADA AVALIAÇÃO E PLANTIO



A comparação entre a variação temporal dos índices de vegetação razão simples e NDVI confirma a maior sensibilidade do NDVI à vegetação, pois os levantamentos realizados após trinta dias da semeadura já apresentam um valor próximo de 50% do valor máximo. Entretanto, se a Razão Simples não é tão sensível nesse estágio quanto o NDVI, ela mostra maior sensibilidade às variações que ocorrem quando a cultura já cobre a maior parte do solo.

Uma análise dos gráficos de evolução dos desvios padrão da média de ambos os índices mostra uma variação temporal similar. Note-se que os valores estimados no último levantamento do plantio 3 parecem indicar que a cultura já ultrapassou o estágio equivalente à quarta avaliação nos plantios 1 e 2. As variações temporais desses desvios padrão são mais ricas em detalhes do que aquelas observadas nos próprios índices de vegetação e podem indicadores apropriados para subsidiar a estimativa do período mais adequado para realização dos levantamentos aéreos.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para facilitar a análise das características espectrais da vegetação, dados multiespectrais podem ser transformados em índices de vegetação que são modelos numéricos resultantes da transformação de duas ou mais bandas espectrais,

utilizando-se operações aritméticas como a soma, razão entre bandas, diferença ou qualquer outra combinação. Os índices de vegetação realçam o contraste entre a vegetação e o solo.

Assim, como o desenvolvimento de uma cultura pode ser avaliado com base na fitomassa da planta nos vários estádios de desenvolvimento, posteriormente à coleta de dados, a resposta espectral de cada estágio está correlacionada com a respectiva fitomassa e essa última com o rendimento. Esse conhecimento pode orientar a definição do período adequado aos levantamentos de áreas cultivadas.

Apesar das dificuldades para realizar aquisição de dados espectrais no campo utilizando câmaras digitais apropriadas para aerolevantamentos, os dados obtidos com essa abordagem permitem selecionar apropriadamente as áreas amostrais. Essa vantagem facilita a aquisição de amostras para análise de dados. Adicionalmente, as imagens coletadas fornecem dados que permitem obter dados similares aqueles adquiridos por espectralradiômetros de campo juntamente com indicadores da dispersão dos valores de resposta espectral na área amostral.

As estimativas de índices de vegetação refletem adequadamente o comportamento de culturas agrícolas ao longo de seu ciclo de desenvolvimento. Porém, as estimativas de dispersão da resposta espectral ao longo desse ciclo constituem um indicador que apresenta maior conteúdo de informação, do que os próprios índices de vegetação, quando a meta é estabelecer um período mais adequado para a aquisição de medidas radiométricas da cultura.

Os dados de rendimento devem indicar o período no qual a correlação entre dados multiespectrais e o rendimento é mais elevado.

8. REFERÊNCIAS

BALASTREIRE, L.A.; ELIAS, A.I.; AMARAL, J.R. Aspectos gerais da agricultura de precisão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SOJA, 1.,1999, Londrina. **Anais...**Londrina: EMBRAPA SOJA, 1999. p. 251-256.

CURRAN, P., J. **Principles of remote sensing**. London: Longman, 1985.

DUNCAN TECH, MS-3100 User manual (Software nVer.1.02h). Auburn, CA: Duncan Tech, 2001(CD-Rom).

GEMAEL, C. **Introdução ao ajustamento de observações: aplicações geodésicas**. Curitiba:UFPR, 1994. 319p.

LAMPARELLI, R.A.C.; ROCHA, J.V.; BORGHI, E. **Geoprocessamento e agricultura de precisão: fundamentos e aplicações**. Guaíba: Agropecuária, 2001. 118p.

MOREIRA, M.A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação.** São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2001. 250p.

NOVO, E.M.L.M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações.** São Paulo: Edgard Blucher, 1992. 308p.

STEFFEN, C.A. **Introdução ao sensoriamento remoto.** Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Disponível em: <<http://www.inpe.br/unidades/cep/atividadescep/educasere/apostila.htm>> Acesso em: 06 fev. 2003.

TUCKER, C.J.; HOLBEN B.N. Spectral assessment of soybean leaf area and leaf biomass: **Photogrammetric engineering and remote sensing**, Baltimore, v.46, n.5, p.651-656, may 1980.

PINTO, R.M.S. Dados radiométricos (0,4 a 0,9 mm) na avaliação de efeitos da poluição atmosféricas em folhas de espécies da Mata Atlântica em Cubatão (SP). **Dissertação de mestrado em sensoriamento remoto.** INPE, São José dos Campos, 2000.

9. AGRADECIMENTOS

À Embrapa - Soja por ter viabilizado a realização do experimento.

À Fapesp pelo apoio financeiro.

Ao Pibic – Unesp pela bolsa de iniciação científica.

REALCE DO GRAU DE ARTIFICIALIDADE DE FEIÇÕES EM IMAGENS AÉREAS COLORIDAS

Airton Marco Polidoro^{1*}
Nilton Nobuhiro Imai²
Antonio Maria Garcia Tommaselli³
Franklin Cesar Flores⁴
Clélia Franco^{5*}

1. Universidade Estadual de Maringá – PR – ampolido@din.uem.br
2. UNESP – Presidente Prudente – SP – nnimai@prudente.unesp.br
3. UNESP – Presidente Prudente – SP – tomaseli@prudente.unesp.br
4. Universidade Estadual de Maringá – PR – fcflores@din.uem.br
5. Universidade Estadual de Maringá – PR – cfranco@din.uem.br

(*) Alunos do Curso de Pós-graduação em Ciências Cartográficas da UNESP em nível de doutorado – Presidente Prudente.

RESUMO

A extração automática de feições de imagens aéreas está entre os grandes problemas de interesse das Geociências. Quando se considera a possibilidade de diversidade de padrões envolvidos em cada cena constata-se que a conquista da solução desse problema é revestida de grande complexidade. Entretanto, a necessidade emergente em se obter resultados, quantitativos e qualitativos, adequados conduzem os pesquisadores para o desenvolvimento de sistemas interativos que propiciem mecanismos de intervenção humana no processo de extração das feições de interesse. Para o tratamento de imagens orbitais, vários índices radiométricos estão sendo continuamente propostos objetivando diferenciar alvos, entre os quais os índices de vegetação são intensamente explorados. Neste caso, a proposta desses índices é facilitada pela obtenção de várias imagens da mesma cena sob as mesmas condições, mas cada uma captando uma resposta espectral diferente, além da baixa resolução no terreno que faz com que pequenos detalhes que destoam do padrão médio da região tenham pouca influência no resultado da resposta espectral, fato que permite considerar esta região como sendo homogênea. Entretanto, imagens obtidas por sensores aerotransportados têm uma resolução muito maior o que torna impossível desconsiderar os pequenos detalhes envolvidos. A prática da fotogrametria aérea já está consolidada, mas não é comum obter comercialmente informações fotogramétricas em várias bandas do espectro. É mais comum obter fotografias coloridas ou infravermelho falsa-cor. Esta prática dificulta a obtenção de

índices que permitam realizar uma classificação automática dos padrões envolvidos. Neste contexto, este trabalho apresenta: 1) mecanismos de extração de informações de imagens aéreas coloridas através da exploração de alguns sistemas de cores; 2) uma proposta para obtenção de um índice que permita computar o grau de artificialidade das feições envolvidas numa cena através do sistema de cor RGB e; 3) uma proposta para obtenção de um índice que permita computar feições sombreadas, explorando o sistema de cor HSI.

Palavras-chave: Extração Automática de feições; Modelos de Cor; Análise de Imagens Aéreas.

ABSTRACT

One of the greatest field of interest in Geomatics is the automatic feature extraction from aerial images. When pattern variability in each scene is considered, the solution for this problem requires great computational effort. An alternative to the automatic process is the development of interactive systems that offer mechanisms for human intervention in the process of feature extraction. Several radiometric indexes have been proposed for target differentiation, among which the vegetation indexes are explored intensely to process orbital images. In this case, the proposals of those indexes are facilitated by the capture of several images from the same scene, under the same conditions, each of them having a different spectral response. Due to their low resolution (approximately 30 meters in the terrain), the small details deviation from the mean pattern have little influence in the result of the spectral response. As a consequence this area can be considered homogeneous. However, images obtained from airborne sensors have a much larger resolution the small details appearing in a scene can not be ignored. Whilst the Aerial Photogrammetry is a well stablished technique, it is not common to collect multisprectral images commercially. It is more common to obtain near-infrared and color images wichh make difficulty to obtain indexes for automatic classification of the interest patterns. In this context, this work presents: 1) methods to extract information from aerial color images through the exploration of some colors system models; 2) a proposal for an index that allows the computation of the degree of artificiality of the features in a scene through the RGB color system model and; 3) a proposal of an index that allows the enhancement of shaded areas, exploring the HSI color system model.

Keywords: Automatic Feature Extraction; Colors Systems; Aerial Image Analysis.

1. INTRODUÇÃO

1.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS

Entre os grandes problemas de interesse para as Geociências destaca-se a extração automática de feições (relevo, edificações, rios, vegetação, etc.) através do processamento digital de imagens aéreas. A aplicação de técnicas clássicas de processamento de imagens e reconhecimento de padrões, em muitos casos, não apresenta resultados completos, pois a quantidade e a diversidade dos padrões envolvidos numa mesma cena tornam complexa a sua solução, como por exemplo: os variados tipos de vegetação e de solo exposto; a presença/ausência de água e de objetos artificiais (residências, ruas, pontes, etc.) que possuem variações na geometria, na textura, na cor e no propósito de uso; presença de sombras de variadas intensidades que geram, cada uma ao seu modo, interferências consideráveis na cena. Mesmo que fosse possível ter o absoluto controle das variáveis que atuam na resposta espectral dos objetos (por exemplo, a iluminação), o problema ainda continuaria sendo de difícil solução, pois há que se considerar a complexidade intrínseca da cena: “... *para quem nunca tentou fazer isto, extrair contornos e linhas de imagens achando que isto resolveria todos os problemas, o mesmo se tornou um problema evasivo*” (DAVIES, 1990).

Entretanto, a necessidade emergente em se obter resultados, quantitativos e qualitativos, adequados às necessidades de mapeamento está conduzindo a solução para o desenvolvimento de sistemas que permitam a interação e o controle do usuário em várias fases do processo (GRÜN, 2000). Nesse contexto, são apresentadas neste trabalho propostas para exploração de vários atributos de imagens aéreas coloridas que permitem obter outros conjuntos de informações mais simples de serem tratados. Esses novos conjuntos de informações permitem o desenvolvimento de outras técnicas para realizar a extração/classificação de feições específicas. Este trabalho contribui ainda com a apresentação de duas técnicas específicas: 1) para obter uma medida do grau de artificialidade das feições, fornecendo valores que permitem diferenciar objetos naturais (água, solo, vegetação, etc.) dos artificiais (telhados, ruas, etc.) contidos na cena e; 2) para obter informações de áreas sombreadas. Essas técnicas operam com imagens aéreas coloridas convencionais digitalizadas, bem como as digitais e, aquelas adquiridas por satélites com sensores de alta resolução (ex. IKONOS).

1.2. CONSIDERAÇÕES SOBRE OS ÍNDICES RADIOMÉTRICOS

Vários índices radiométricos são freqüentemente propostos com o objetivo de diferenciar alvos. Mais especificamente, os índices de vegetação vêm sendo intensamente explorados na análise da resposta espectral de alvos.

Um índice de vegetação espectral é uma quantidade obtida através da razão, diferença, ou de qualquer outra transformação espectral de dados, para a representação das características da cobertura vegetal, tais como: índice de área foliar, fitomassa, peso da vegetação úmida, peso da vegetação seca, porcentagem de cobertura vegetal, etc.

Os índices de vegetação podem ser calculados tanto a partir de dados orbitais, quanto de medições radiométricas de campo. Alguns deles, principalmente aqueles desenvolvidos para dados orbitais, podem apresentar ajustes para as variações sazonais, e de ângulo de elevação solar. Em função de várias alternativas (tipo de sensor, aplicações) foram desenvolvidos muitos modelos de índices de vegetação, dentre eles a razão simples.

A razão simples entre os valores de radiância ou reflectância transformados a partir dos valores de intensidade dos *pixels* representados em duas bandas é um índice de vegetação muito simples e útil, se as bandas forem apropriadamente escolhidas. Um dos critérios de seleção de duas bandas para a razão simples é baseado no fato de que os dados espectrais em uma banda devem decrescer de valor com o aumento da vegetação verde na cena, enquanto que os dados obtidos em outra banda devem ter seu valor aumentado. A curva média da resposta espectral de vegetação, para o intervalo espectral definido entre 0,4 a 1,0 μm , vem conduzindo ao uso mais freqüente da razão das respostas nesse intervalo.

O intervalo de comprimento de onda da radiação eletromagnética entre 0,63 a 0,7 μm é conhecida como uma banda de absorção, decorrente da fotossíntese realizada pela clorofila da vegetação verde e sadia. Essa banda espectral corresponde à porção da luz vermelha no espectro visível e é um indicador sensível da vegetação verde. A região espectral entre 0,7 e 1,1 μm corresponde ao intervalo do infravermelho próximo, no qual a vegetação verde apresenta uma alta reflectância decorrente de sua estrutura e dos componentes foliares, de modo que uma banda nessa região é também sensível à vegetação.

A razão entre uma banda, cujos valores de brilho dos *pixels* aumentam proporcionalmente com a densidade da vegetação (infravermelho próximo) e uma banda que apresenta os valores decrescentes com o aumento da vegetação (vermelho) produz um parâmetro (ou índice) que é altamente sensível à vegetação, ou seja, a razão IVP/V.

Um outro índice de vegetação muito comum em análise de imagens multiespectrais é a diferença normalizada (DN). Trata-se de uma razão da diferença entre os valores representados em duas bandas e a soma dos mesmos valores nessas duas bandas, que foi desenvolvida para servir como um índice de vegetação durante um estudo de aplicação dos dados do satélite Landsat-1 e é obtido através das bandas espectrais do MSS/Landsat, correspondentes ao infravermelho próximo (IVP - banda MSS7) e vermelho (V - banda MSS5) para gerar esse índice. Na ausência de informações de radiância espectral referente à banda do infravermelho próximo (0,7

– 1,1 μm), (GRÜN, 2000) propôs um índice DN para substituir a radiância espectral nesse intervalo de comprimento de onda pelo intervalo correspondente à porção da luz verde no espectro visível. A clorofila verde absorve radiação eletromagnética principalmente nas bandas do visível correspondentes à luz vermelha e azul. Desta forma, a resposta espectral da banda correspondente à luz verde é similar à resposta da vegetação à radiação eletromagnética no intervalo do infravermelho próximo, porém de menor intensidade. Foram realizados alguns testes com imagens coloridas obtidas por diferentes tipos de sensores, entretanto, os resultados obtidos com a aplicação desse índice não indicaram um elevado grau de discriminação entre alvos naturais e artificiais.

Foi desenvolvida, então, uma técnica que permite determinar um indicador que realça as diferenças entre alvos naturais e artificiais, embora não se tenha a pretensão de constituir índice espectral qualitativo da vegetação. Considerando o comportamento espectral da vegetação na banda do visível, propõe-se a determinação de um indicador obtido pela diferença de valor de resposta no intervalo correspondente à luz verde em relação à soma das respostas dos valores no intervalo correspondente à luz azul e vermelha.

As imagens obtidas pela aplicação dessa técnica realçam a diferença entre alvos naturais e artificiais de forma intensa. Os testes foram realizados com diversos conjuntos de dados e os resultados obtidos são promissores. Espera-se que essa técnica possa integrar um procedimento que conduza ao mapeamento de edificações, estacionamentos, logradouros, entre outras entidades de interesse.

2. BREVES CONSIDERAÇÕES SOBRE O TRATAMENTO DE FEIÇÕES NATURAIS E ARTIFICIAIS

Na seção 1.1. destacou-se que a grande quantidade de padrões envolvidos numa única cena dificulta a classificação dos mesmos. Entretanto, essa dificuldade é aumentada quando se considera que dois padrões de uma mesma feição podem ter grandes variações de propriedades entre elas. Por exemplo, dois telhados de duas edificações têm cores, geometria e propósito de uso diferente, além do que é muito comum haver variações de cor e textura e presença de sombras em uma parte de um mesmo telhado. Considere também a existência de variados tipos de vegetação e de solo exposto; a presença/ausência de água e de outras feições artificiais e naturais como a presença de sombras de variadas intensidades e as oclusões. Cada uma dessas feições gera, ao seu modo, interferências consideráveis na cena, cuja resposta espectral não pode ser ignorada. Algumas dessas interferências podem ser observadas na Figura 1a.

Uma aplicação que tem por objetivo segmentar os telhados de edificações lida com um problema de complexidade considerável, pois os telhados apresentam

variações de textura, geometria, cor e brilho entre eles próprios. Então, procura-se por alvos que podem ter todos seus atributos alterados, exceto a denominação “telhados de edificações”. A complexidade desse problema vai mais além, pois observe que num mesmo telhado existem variações de cor, brilho, textura, etc.

Na tentativa de contornar ou minimizar os efeitos dessas interferências as mais variadas fontes de informação estão sendo usadas como: conjuntos de múltiplas imagens de uma mesma cena adquiridas em datas diferentes; conjuntos de várias imagens obtidas em diferentes faixas do espectro; o uso combinado de imagens com informações do Modelo Digital do Terreno; o uso de *laserscanning*, dados de sistemas GIS, etc. Mesmo assim, o problema não deixa de ser carregado de diversos fatores que elevam consideravelmente a complexidade de seu tratamento no sentido de se obter uma solução automática.

Por outro lado, os usuários dessas (esperadas) soluções exigem maior precisão e certeza nos resultados produzidos. Para tanto, alguns dos trabalhos publicados que enfocam este tipo de problema preferem adotar uma abordagem semiautomática (GRÜN, 2000), ou seja, permite a interferência do usuário no processo para garantir a confiabilidade e completude dos resultados. Sob essas considerações muitos pesquisadores estão adotando essa abordagem para garantir um certo grau de qualidade e exatidão nos resultados finais.

Considerando-se os problemas expostos acima e, em virtude da complexidade intrínseca envolvida com imagens aéreas, faz-se necessário o uso concomitante de várias fontes de informações para que esses problemas sejam contornados.

Nesse sentido, a opção pelo uso de uma imagem colorida se justifica pelos seguintes motivos:

1. a tecnologia para aquisição de imagens aéreas é consolidada e amplamente divulgada;
2. o custo envolvido na aquisição de uma imagem aérea tradicional é, atualmente, inferior ao custo envolvido no uso de outros tipos de sensores (Tommaselli et al., 2000);
3. nenhum outro sensor disponibiliza um conjunto de informações tão grande quanto uma imagem colorida (Grün, 2000);
4. existe uma gama de técnicas e de metodologias na área de processamento de imagens e de aerofotogrametria que foram pouco, ou não tiveram nenhuma exploração no sentido de se resolver problemas de interesse para a Geociência.
5. relacionamentos espaciais e topológicos podem ser mais explorados
6. os atributos espectrais são obtidos sempre de uma mesma fonte, e cada um deles, apesar de diferentes, estão diretamente relacionados com o mesmo alvo.

2.1. GRAU DE ARTIFICIALIDADE DAS FEIÇÕES

Tanto (GRÜN, 2000) como (NIEDERÖST, 2000), interessados em segmentar e reconstruir edificações através de imagens aéreas coloridas, fazem uso dos atributos

RGB de uma imagem, além de informações de altimetria e do Modelo Digital do Terreno da região referente a imagem que está sendo processada. Eles precisam, *a priori*, classificar os objetos de uma imagem aérea em duas classes: a artificial (construções feitas pelos homens) e a natural (vegetação, sombra, solo exposto, etc.). Uma parte desse método de classificação consiste em se obter o Grau de Artificialidade das feições da cena através da operação *DoA* – (*Degree of Artificiality*) – dado pela razão entre os *pixels* das bandas *green* (*G*) e *red* (*R*) do sistema de cor RGB (Eq. 1).

$$DoA = \frac{G - R}{G + R} \quad (1)$$

Este resultado combinado com a informação de cor *redness-greenness* (a^*) do sistema de cor $L^*a^*b^*$ são submetidos ao algoritmo *K-means clustering* para formar as duas classes desejadas. O custo computacional dessa operação é alto, sem se considerar a possibilidade haver inconsistência de divisão por zero na operação proposta.

2.2. PRESENÇA DE ÁREAS SOMBREADAS

A presença de sombras provoca grandes alterações na resposta espectral das feições sobre as quais ela se projeta. A primeira alteração é uma redução na iluminação, em várias intensidades, das áreas atingidas por essa projeção. A segunda, é que essas áreas afetadas pelas sombras respondem com as cores azul e violeta, pois reflete o espalhamento de Rayleigh (efeito do céu azul). Áreas de sombra não recebem fluxo direto de energia luminosa devido a algum obstáculo que se interpõe entre essas áreas e a fonte de energia. Entretanto, em função do espalhamento atmosférico de Rayleigh ela se torna altamente saturada de azul/violeta (COX et al., 2002), (HULST, 1957) e (ADLER-GOLDEN et al., 2002).

A presença de sombras é de natureza dicotômica. Enquanto as sombras provocam interferências na resposta espectral podendo esconder feições importantes (ZIMMERMANN, 2001), as mesmas podem fornecer informações importantes como, por exemplo, o de altimetria das feições que as projetaram, permitindo, por exemplo, a reconstrução tridimensional com o uso de imagens monoculares (RAVIV et al., 1989).

3. EXPLORAÇÃO DOS SISTEMAS DE CORES PARA OBTENÇÃO DE ATRIBUTOS DE IMAGENS AÉREAS COLORIDAS

Quando se trabalha com imagens coloridas, (Figura 1a), pode-se extrair delas vários conjuntos de atributos apenas explorando alguns modelos de sistemas de cor (por exemplo: RGB, HSI, XYZ, YUV, UVW, $U^*V^*W^*$, $L^*a^*b^*$, $L^*u^*v^*$, Karhunen-

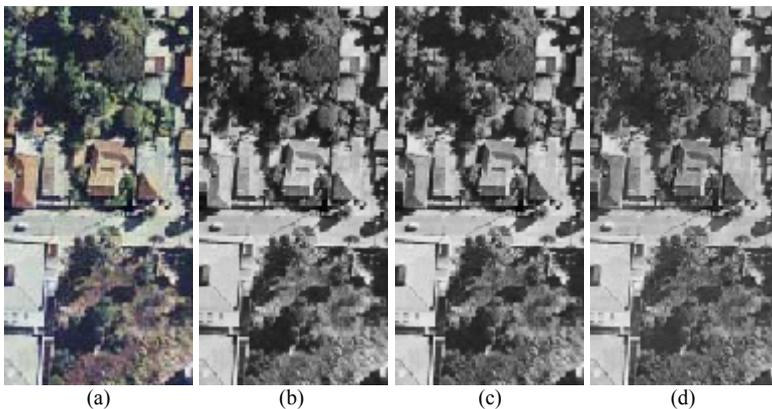
Loeve Color Coordinate System, Retinal Cone Color Coordinate System, etc.) (PRATT, 1991). Através da análise da resposta de cada feição componente da imagem, pelos seus atributos, pela mudança de sistema de cor, pode-se projetar métodos que tenham um comportamento robusto para extrair, realçar e classificar feições de interesse.

São apresentados a seguir os sistemas de cores RGB, HSI e $L^*a^*b^*$. Os sistemas HSI e $L^*a^*b^*$ podem ser obtidos através de transformações aplicadas ao sistema RGB. Para maiores detalhes consulte (PRATT, 1991).

3.1. SISTEMA DE COR RGB

O sistema de cor RGB permite representar uma imagem colorida em três bandas, onde os valores de cada banda representam uma luz primária do espectro visível: *Red*, *Green* e *Blue*. Portanto, a combinação dessas três luzes primárias em diferentes intensidades gera uma cor. As Figuras 1b, 1c e 1d mostram o resultado da decomposição da imagem colorida da Figura 1a em suas respectivas bandas RGB.

FIGURA 1. (a) IMAGEM COLORIDA ORIGINAL. (b) BANDA R. (c) BANDA G. (d) BANDA B.



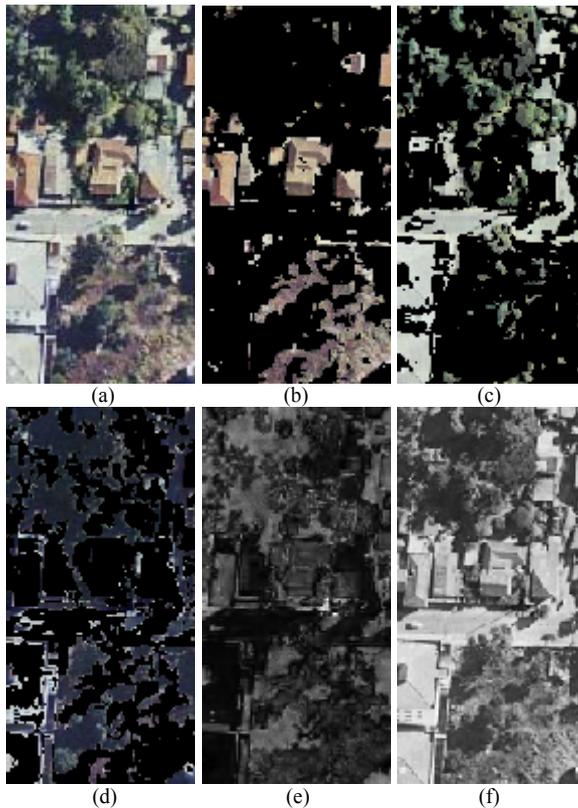
3.2. SISTEMA DE COR HSI

O sistema de cor HSI disponibiliza informações preciosas sobre os elementos que compõem uma cena e é um dos mais usado em aplicações relativas às Geociências. Basicamente, este sistema de cor fornece três informações sobre cada cor presente na imagem: a matiz (**Hue**, Figuras 2b, 2c e 2d), a saturação (**Saturation**, Figura 2e) e a intensidade luminosa (**Intensity**, Figura 2f).

A matiz nos permite obter informações de objetos que têm como atributos total ou parcialmente, uma cor em particular. Por exemplo, a Figura 2b mostra feições

que têm atributos de cor vermelha (telhados e solo exposto); a Figura 2c aquelas que têm atributos da cor verde (vegetação e, numa menor intensidade, alguns objetos artificiais) e; a Figura 2d aquelas que têm atributo de cor azul (água, sombras e alguns objetos artificiais). A presença do atributo de cor azul na água e na sombra se deve ao efeito da dispersão atmosférica da luz, mais conhecido como Rayleigh scattering (HULST, 1957).

FIGURA 2. (a) IMAGEM COLORIDA ORIGINAL. (b), (c) E (d) SEGMENTAÇÃO DE FEIÇÕES COM ATRIBUTOS DE COR VERMELHA, VERDE E AZUL, RESPECTIVAMENTE. (e) SATURAÇÃO DAS CORES. (f) INTENSIDADE LUMINOSA DAS CORES.



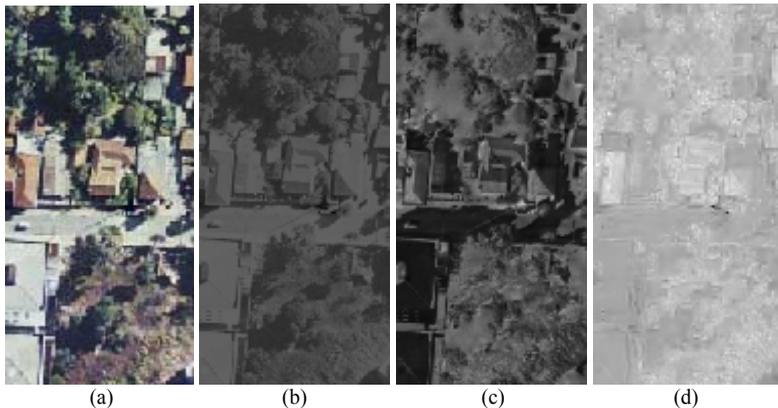
A intensidade mostra a capacidade das feições presentes na imagem de refletir ou absorver a energia luminosa. Os alvos mais claros refletiram a luz (telhados) enquanto que os mais escuros a absorveram ou não ocorreu incidência direta de energia (sombras).

A saturação é uma medida de quão pura é a luz refletida, ou seja, quanto maior a saturação, menos luz branca está presente naquela cor (o vermelho é uma cor pura saturada, o rosa é a cor vermelha diluída com a cor branca)

3.3. SISTEMA DE COR $L^*a^*b^*$

O sistema de cor $L^*a^*b^*$ permite decompor uma imagem colorida em três outras imagens as quais contêm informações de subtração do brilho (L^* – *brightness*) e subtração dos pares de cores vermelha-verde (a^* – *redness-greenness*) e amarela-azul (b^* – *yellowness-blueness*). Essas decomposições mostram situações interessantes, uma vez que é possível analisar certos atributos das imagens resultantes minimizando a interferência de uma propriedade (o brilho e os pares de cores vermelha-verde e amarela-azul). Os resultados dessa decomposição são mostrados nas Figuras 3b, 3c e, 3d. (GRÜN, 2000) e (NIEDERÖST, 2000) usaram a imagem a^* – *redness-greenness* – para promover a classificação das feições em duas classes: natural e artificial; junto com o resultado DoA , Eq. 1, e a imagem correspondente a banda *red* do sistema de cor RGB com a aplicação do algoritmo *K-means clustering*.

FIGURA 3. (a) IMAGEM COLORIDA ORIGINAL. (b) BRIGHTNESS (L^*). (c) REDNESS-GREENNESS (a^*). (d) YELLOWNESS-BLUENESS (b^*).



4. PROPOSTAS PARA REALCE DO GRAU DE ARTIFICIALIDADE E QUANTIFICAÇÃO DE ÁREAS SOMBREADAS

Na seção 3 deste trabalho foi mostrado que uma imagem colorida possui diversos atributos e, que para obtê-los basta mudar o modelo do sistema de cor. Observe que a cada mudança do sistema de cor as feições respondem com atributos diferentes.

Note que a mudança no sistema de cor não provoca alterações na geometria das feições. As únicas propriedades alteradas são os tipo de atributos que representam os alvos.

A seguir, são apresentadas duas técnicas, uma para realçar o grau de artificialidade das feições e, outra para obter informações quantitativas sobre o grau de intensidade de áreas afetadas por sombreamento. Os resultados obtidos são originários de fotografias aéreas digitalizadas entretanto, será mostrado (na seção 4.3.) que as técnicas aqui apresentadas podem ser aplicadas em imagens adquiridas com câmaras digitais e orbitais de alta resolução.

4.1. ÍNDICE DE REALCE DO GRAU DE ARTIFICIALIDADE DAS FEIÇÕES

A Figura 4b mostra o resultado do índice do grau de artificialidade DoA usado tanto por (GRÜN, 2000) e (NIEDERÖST, 2000). Este resultado é obtido com a aplicação da Eq. 1, a qual tem um elevado custo computacional de processamento, além de não prever a possibilidade de divisão por zero o que gera inconsistência no processo, exigindo um tratamento especial.

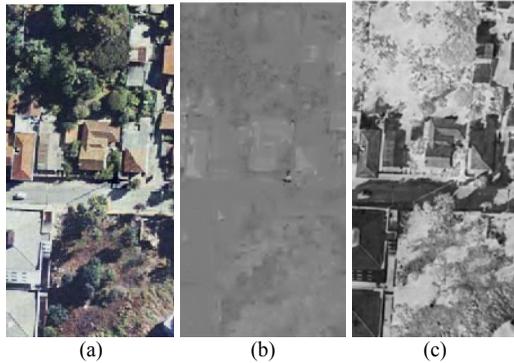
Ao se considerar que se tem como objetivo separar objetos artificiais dos naturais pode-se observar através das decomposições RGB, Figuras 1b, 1c e 1d, que a variação do atributo intensidade das feições naturais (sombras e solo exposto) nas três bandas (RGB) é muito sutil. A vegetação tem uma boa contribuição na banda G, mas sofre pouca alteração nas bandas R e B e, as edificações sofrem uma variação maior de uma banda para outra. Assim, a aplicação da Eq. 2 – $NandA$ (*Natural and Artificial*) – irá realçar a vegetação, deixando-a em tons mais claro, enquanto que as edificações são levadas para tons mais escuros. Quanto ao solo exposto, a sua tonalidade resultante depende do seu tipo, em geral ele fica numa tonalidade constante intermediária entre o da vegetação e o das edificações o que, dependendo da situação, pode provocar confusão no processo de classificação.

Esta técnica, proposta neste trabalho, é mais consistente, robusta e computacionalmente mais tratável para obtenção de um índice de artificialidade das feições e os resultados apresentados são mais agradáveis que aqueles obtidos pelo DoA – (Figura 4b).

$$NandA = G - (R + B) \quad (2)$$

O resultado desta operação, após a redistribuição dos valores obtidos de acordo com a amplitude possível da imagem, é mostrado na Figura 4c. Note que as feições naturais são mais claras e as artificiais mais escuras, fato que facilita o processo de classificação e separação dessas feições (POLIDORIO et al., 2003a).

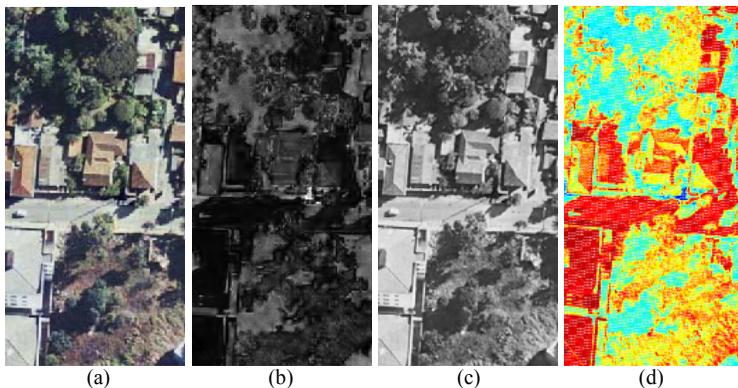
FIGURA 4. (a) IMAGEM COLORIDA ORIGINAL. (b) RESULTADO DA APLICAÇÃO DO *DoA*. (c) RESULTADO DA APLICAÇÃO DO *Nanda* (PROPOSTO NESTE TRABALHO).



4.2. ÍNDICE QUANTIFICADOR DE SOMBRAS

Na seção 3.2. foi mencionado que alvos sombreados tem como comprimento de onda da luz dominante o azul/violeta devido à predominância da radiação eletromagnética espalhada na atmosfera na energia captada pelo sistema sensor (Figura 2d). O efeito da dispersão da luz pela atmosfera faz com que as regiões afetadas pelas sombras sejam saturadas com os comprimentos de ondas (λ) relativos as cores violeta e azul ($\lambda \in [380, 500]$ em nanômetros) (Figuras 5b e 2d). Por outro lado, as sombras delimitam regiões de muito baixa incidência de energia luminosa e, portanto, de baixa resposta (Figura 5c).

FIGURA 5. (a) IMAGEM COLORIDA ORIGINAL. (b) SATURAÇÃO. (c) INTENSIDADE. (d) RESULTADO OBTIDO PARA QUANTIFICAÇÃO DE SOMBRAS (PROPOSTO NESTE TRABALHO).



Os atributos de alta saturação e de baixa intensidade luminosa das sombras permitem a sua detecção através de uma operação simples. A Figura 5d mostra o resultado da subtração da intensidade luminosa pela saturação, realçado com falsacolor, na qual, as regiões azuis indicam a presença de sombras mais intensas e o amarelo pode conter sombras de baixa intensidade. Já o vermelho indica que não existe sombra. Esta operação é resumida pela Eq. 3 (POLIDORIO et al., 2003b).

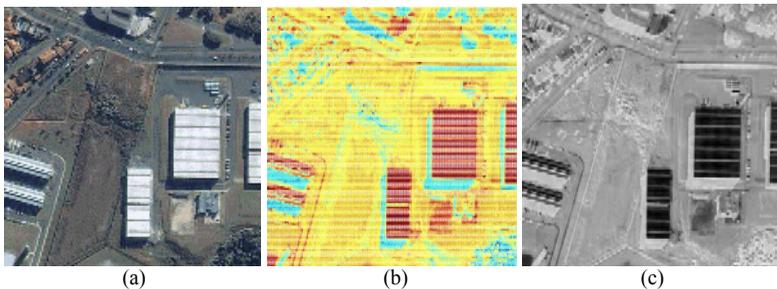
$$I_{SDW} = L - S \quad (3)$$

onde: I_{SDW} é o índice quantificador de sombras e L e S são, respectivamente as bandas de intensidade e saturação, providas pelo modelo HSI.

4.3. OUTROS RESULTADOS

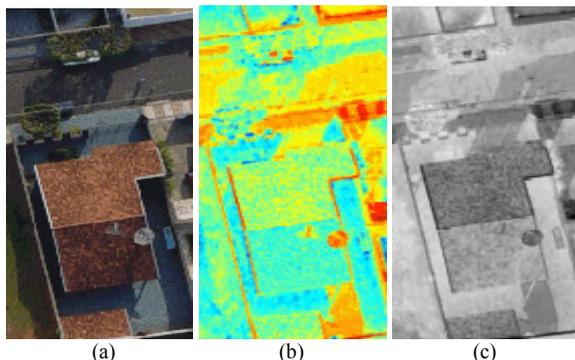
As Figuras 6 e 7 mostram resultados das técnicas propostas neste trabalho. A Figura 6a. É uma imagem colorida adquirida pelo IKONOS com 1 metro de resolução no terreno. A Figura 7a foi adquirida por uma câmara digital não-fotogramétrica através de um helicóptero.

FIGURA 6. (a) IMAGEM COLORIDA ORIGINAL – IKONOS (1m) – REGIÃO DE CURITIBA. (b) QUANTIFICAÇÃO DE SOMBRAS. (b) *Nanda*.



Observe na Figura 7b que o resultado do índice de quantificação de sombras apresenta alguns desvios (falso resultados). Estes desvios devem ser atribuídos a baixa altura de vôo para a aquisição da imagem pois o espalhamento atmosférico é diretamente proporcional à distância entre o sensor e a superfície que está sendo imageada. Estima-se que a altura de vôo mínima de aquisição das imagens, para otimizar os resultados produzidos pela técnica de quantificação de sombras, deve ser próxima aos 3.500 metros.

FIGURA 7. (a) IMAGEM COLORIDA ORIGINAL (DIGITAL). (b) QUANTIFICAÇÃO DE SOMBRAS. (c) *Nanda*.



5. CONCLUSÃO

Ao se considerar a complexidade e a variabilidade de feições contidas numa imagem aérea, apresentar uma solução para problemas de interesse das Geociências exige o maior número de informações diferentes possível. Mostrou-se neste trabalho que o uso de imagens aéreas coloridas fornece um grande número de atributos diretamente relacionados com os alvos imageados.

Foram propostas técnicas que permitem distinguir objetos artificiais dos naturais e, um outro que permite destacar regiões afetadas somente pelas sombras. Essas técnicas foram exaustivamente testadas em uma variabilidade de imagens aéreas bem como em imagens obtidas por satélites (Landsat TM – bandas 1-2-3 – com aplicação na detecção de sombras provocadas por nuvens e IKONOS – com imagem de 1m de resolução no terreno).

6. REFERÊNCIAS

ADLER-GOLDEN, S. M.; MATTHEW, M. W.; ANDERSON, G. P.; FELDE, G. W.; GARDNER, J. *An Algorithm for De-Shadowing Spectral Imagery*. AVIRIS Earth Sciences and Applications Workshop, NASA – Jet Propulsion Laboratory, 2002. Available in: <http://www.spectral.com/publications.htm>.

COX, A. J.; DEWEERD A. J.; LINDEN, J. *An experiment to Measure Mie and Rayleigh Total Scattering Cross Sections*. AMERICAN JOURNAL OF PHYSICS. Vol. 70 (6), pp. 620–625, June 2002.

DAVIES, E. R. *Machine Vision: Theory, Algorithms, Practicalities*. Academic Press Inc. 1990.

GRÜN, Armin. *Semi-Automated Approaches to Site Recording and Modeling*. XIXth ISPRS – INTERNATIONAL SOCIETY FOR PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING. Volume XXXIII, Part B5/1, pp. 309 – 318. Amsterdam, The Netherlands, 16-23 July 2000.

HULST, Van De. *Light Scattering by Small Particles*. John Wiley and Sons, 1957.

NIEDERÖST, Markus. *Detection and Reconstruction of Buildings for a 3-D Landscape Model of Switzerland*. Available in: <http://photogrammetry.ethz.ch/>. 2000.

POLIDORIO, A. M.; IMAI, N. N.; TOMMASELLI, A. M. G.; FLORES, F. C.; FRANCO, C. *Classificação de Objetos Naturais e Artificiais de Imagens Aéreas Coloridas*. Artigo em preparação, 2003a.

POLIDORIO, A. M.; FLORES, F. C.; IMAI, N. N.; TOMMASELLI, A. M. G. *Automatic Segmentation of Shadow in Aerial Color Image*. 2003b. Artigo em preparação, 2003b.

PRATT, W. K. *Digital Image Processing*. John Wiley & Sons Inc. 1991.

RAVIV, D.; PAO, Y.; LOPARO, K.; A. *Reconstruction of Three-Dimensional Binary Images*. IEEE TRANSACTION ON ROBOTICS AND AUTOMATION. Vol. 5, No. 5. p. 701-710, October, 1989.

TOMMASELLI, A. M. G.; HASEGAWA, J. K.; GALO, M. *Modernas Tecnologias de Aquisição de Imagens em Fotogrametria*. BOLETIM DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS, Curitiba, v. 6, nº 1, p. 49-64, 2000.

ZIMMERMANN, Petra. *Body Building Detection Cues*. Institute of Geodesy and Photogrammetry, ETH Zurich. Available in: http://www.photogrammetry.ethz.ch/research/AMOB/body_building_detection_cues.html. 2001.

ANÁLISE DA OCUPAÇÃO EM ÁREAS DE PRESERVAÇÃO PERMANENTE (APP) NA ÁREA URBANA DO MUNICÍPIO DE MATINHOS UTILIZANDO A IMAGEM IKONOS II

Ulrike Sturm¹
Prof. Dr. Alzir Felipe Antunes²
Prof^a. Dr^a. Christel Lingnau³
Prof. Dr. Hans-Peter Bähr⁴

- 1 Universidade de Karlsruhe (Alemanha), Instituto de Geografia e Geoecologia; pelo intercâmbio UNIBRAL na Universidade Federal do Paraná, Departamento de Geomática – uli_sturm@web.de
- 2 Universidade Federal do Paraná, Departamento de Geomática – felippe@ufpr.br
- 3 Universidade Federal do Paraná, Departamento de Ciências Florestais – lingnau@floresta.ufpr.br
- 4 Universidade de Karlsruhe, Instituto de Fotogrametria e Sensoriamento Remoto – baehr@ipf.bau-verm.uni-karlsruhe.de

RESUMO

O planejamento ambiental é fundamental para o desenvolvimento sustentável de cidades. No caso de Matinhos, no litoral do Paraná, assim como acontece em outros municípios brasileiros, este planejamento foi negligenciado. Devido a isso, assentamentos urbanos são facilmente encontrados nas áreas originalmente previstas como áreas de preservação permanente (APP), segundo o Código Florestal (Lei Federal 4771/65). O presente artigo descreve os resultados preliminares de uma classificação destinada ao mapeamento e avaliação da ocupação urbana, através de classificação orientada ao objeto, especialmente em áreas de preservação permanente nas margens dos rios onde, em condições naturais, se encontraria floresta ciliar. O ambiente ciliar tem grande importância ecológica com relação ao rio e à preservação de sua qualidade. Foi escolhido uma área piloto no Município de Matinhos, próximo ao Rio da Onça. Como base foi usado uma imagem IKONOS II híbrida, a qual permite a resolução espacial de até 1 metro, sendo assim adequada à aplicação em áreas urbanas. Em municípios com grande dinâmica ocupacional, esta tecnologia torna-se fundamental tanto no planejamento quanto na gestão ambiental. A classificação da imagem foi feita usando a abordagem “orientada ao objeto” implementada no programa eCognition. O resultado da classificação da imagem

IKONOS II foi introduzido no programa *ArcView*, um Sistema de Informações Geográficas (SIG), para a avaliação das áreas.

Palavras-chave: classificação orientada a objeto; imagens tipo IKONOS II; Análise ambiental

ABSTRACT

Environmental planning is fundamental for the sustainable development of cities. In the case of Matinhos, on the Paranésense coast, as well as other Brazilian municipalities, this planning was neglected. For this reason, urban settlements can be found in areas which are actually considered areas of permanent preservation (APP), according to the Forestry Law. The present article describes the preliminary results of a mapping study of the urban occupation, especially in APP along the river line, where under natural condition one would find a riparian forest. The riparian environment has great ecological importance for the river and the preservation of its quality. The occupation of these areas brings consequences for the substitution of this natural vegetation by other cover, for example, impermeable areas or areas of exposed soil. An area in the municipality of Matinhos, close to the river “Rio da Onça”, was selected as a test area. The tasks of this study are: mapping of the already illegally occupied areas according to Forestry Law, as well as the not yet occupied areas; evaluating the occupied areas according to their grade of impermeability; evaluating the area of remanescent forest. As a base an IKONOS II image was used, which permits spatial resolution of 1m and allows its adaptation and application in urban areas. In municipalities with great occupational development, this technology becomes fundamental in planning as well as in environmental management. The classification of the image was done using the object-oriented approach, implemented in the eCognition software. The classification result was then evaluated using the software ArcView, a Geographic Information System (GIS).

Keywords: object oriented classification, IKONOS II image, environmental analysis

1. INTRODUÇÃO

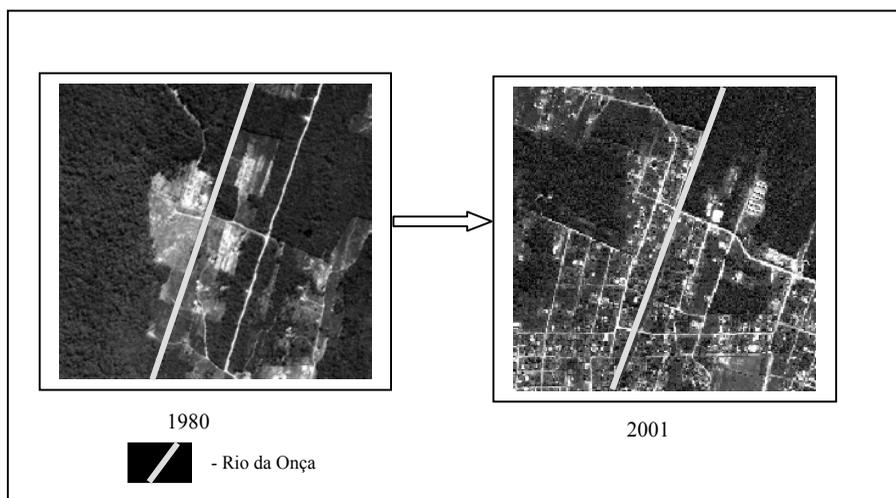
As primeiras moradias com características urbanas na região Matinhos, no litoral do Paraná, datam da década 20, com ocupações iniciadas na Praia Mansa, Balneário de Caiobá (BIGARELLA, 1991) . Deste este tempo Matinhos tornou-se, passo a passo, pelo um centro urbano (LEAL, 2002). Durante este crescimento foi, como acontece em outros municípios brasileiros, negligenciado um planejamento ambiental, que é fundamental para o desenvolvimento sustentável de cidades. Por causa disso, assentamentos urbanos são facilmente encontrados nas áreas originalmente previstas como áreas de preservação permanente (APP), segundo o Código Florestal.

Matinhos situa-se na área da Floresta Atlântica. Como somente 8% do área original são remanescentes (SOS MATA ATLÁNTICA, 2003), a preservação torna-se uma necessidade essencial, além da lei.

O presente artigo descreve os resultados preliminares de uma classificação destinada ao mapeamento da ocupação urbana especialmente em APP nas margens do Rio da Onça onde, em condições naturais, se encontraria floresta ciliar. Uma área piloto foi escolhida o sul do Parque Florestal do Rio da Onça.

As alterações ocorridas durante o período de 1980 e 2001 estão na fotografia aérea e na imagem IKONOS II respectivamente, onde mostra uma grande dinâmica na região (FIGURA 01).

Figura 01 - DESENVOLVIMENTO OCUPACIONAL NA ÀREA PILOTO (FOTOGRAFIA AÉREA (PAN) DE 25-09-1980 E IMAGEM IKONOS (II) DE 04-10-2001 (BANDA 3))



Segundo o Código Florestal (Lei Federal 4771/65) define-se as margens do rio ou qualquer curso d'água como APP. Muitos rios em Matinhos foram canalizados, retificados e alargados, como aconteceu também com o Rio da Onça. Na parte norte da área de estudo, onde se encontra o Parque do Rio da Onça, o Rio da Onça não foi alterado sendo sua largura de menos de 10 metros, neste local a APP seria de 30 metros. Como ao sul desta área o rio foi canalizado possuindo atual uma largura maior que 10 metros, a faixa de preservação deve ser de 50 metros, segundo o Código Florestal. Tem-se observado uma certa inexistência de planejamento, pois a APP foi ocupada de maneira irregular. No entanto o ambiente ciliar apresenta importantes funções hidrológicas, ecológicas e limnológicas (TABELA 01), com relação ao rio e à preservação de sua qualidade, e por isso este ambiente deve ser preservado.

TABELA 01 – FUNÇÕES DAS ÁREAS RIARIAS (CARVALHO, 1993 APUT BARELLA ET AL., 2000)

Tipo	Função
Hidrológicas	Contenção de ribanceiras
	Diminuição e filtração do escoamento superficial
	Impedir ou dificultar o carreamento de sedimento para o sistema hidrográfico
	Intercepção e absorção a radiação solar – manutenção da estabilidade termica
	Controle o fluxo e a vazão do rio
Ecológicas	Formação de microclima
	Formação de habitats, áreas de abrigo e de reprodução
	Corredores de migrações da fauna terrestre
	Entrada de suprimento orgânico
Limnológicas	Influência nas concentrações de elementos químicos e do material em suspensão

A vegetação original foi substituída por área urbana, solo exposto e gramíneas. A ausência de vegetação resulta em problemas como a alteração da taxa de infiltração no solo, que pode desencadear enchentes, fenômeno este muito comum nesta região, devido ao aumento do escoamento superficial, e o transporte de sedimentos pelo escoamento laminar superficial. Este pode também ser observado na área de estudo (FIGURA 02). Tendo em vista que Matinhos situa-se na planície litorânea onde se encontra solos arenosos, observa-se grande grau de instabilidade do solo.

FIGURA 02 – ASSOREAMENTO NA ÀREA DE ESTUDO (FOTO: STURM)



Nos últimos anos, com o aumento da resolução espacial em imagens de Sensoriamento Remoto, ampliou-se a aplicação para ambientes urbanos. Considerando a largura dos rios e das faixas ocupadas pelo ambiente ciliar nas margens, seu estudo é unicamente possível com imagens de alta resolução. A alta resolução destas imagens provou ser útil não somente para o estudo da vegetação, mas também para o mapeamento da ocupação urbana, pois permite identificar objetos como construções e ruas, que não eram visíveis em imagens de resolução espacial menor. Dentre as imagens de alta resolução, as imagens multiespectrais ganham importância, devido à possibilidade de discriminar melhor a vegetação pelo emprego de bandas no infravermelho.

Neste estudo, uma imagem híbrida do sistema IKONOS II foi utilizada como fonte de dados. A imagem utilizada é o resultado da fusão das bandas multiespectrais com a banda pancromática, da melhor resolução espacial (1 metro). Com isto, uma imagem de alta resolução espacial, com as informações das bandas da imagem multiespectral (de menor resolução) é obtida. Para municípios com grande dinâmica ocupacional este tipo de tecnologia torna-se fundamental tanto no planejamento quanto na gestão ambiental.

2. OBJETIVOS

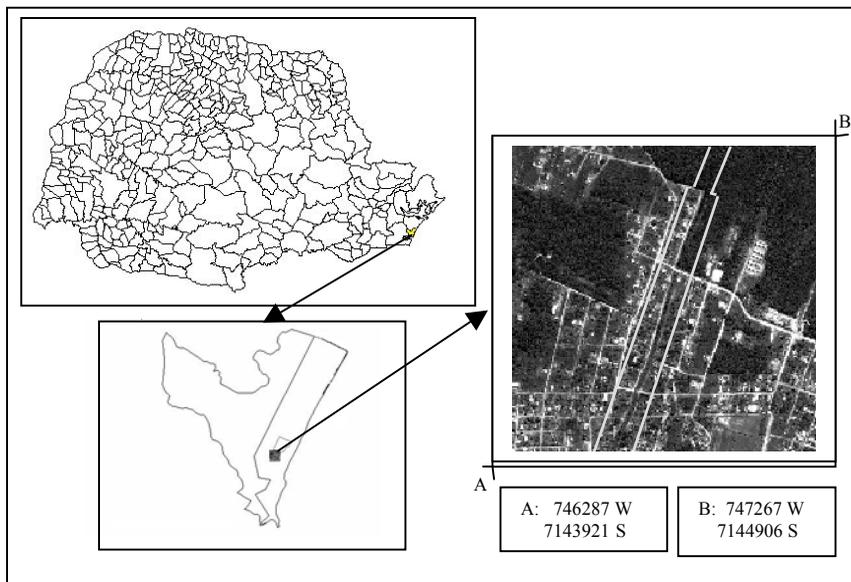
Os objetivos do estudo são:

- 1.) mapear o uso do solo na área de preservação permanente (APP);
- 2.) avaliar quantitativamente a área impermeável nas áreas ocupadas irregularmente, que significa na área de estudo área com moradias;
- 3.) determinar a área de floresta remanescente.

3. ÀREA DE ESTUDO

A área de estudo situa-se no Município de Matinhos, ao sul do Parque Florestal Rio da Onça, de acordo com FIGURA 03.

FIGURA 03 – ÀREA DE ESTUDO (IMAGEM IKONOS II, BANDA 3)



4. MATERIAIS E MÈTODOS

5.1 MATERIAIS

- Fotografia aérea de 25/09/1980, disponibilizada pela SEMA
- Imagem IKONOS II, multiespectral, bandas 2 (verde), 3 (vermelho) e 4 (infravermelho), híbrida de 05/10/2001
- Bases Cartográficas (1:2000 e 1:10000) do PARANACIDADE de 1997

5.2. PROGRAMAS

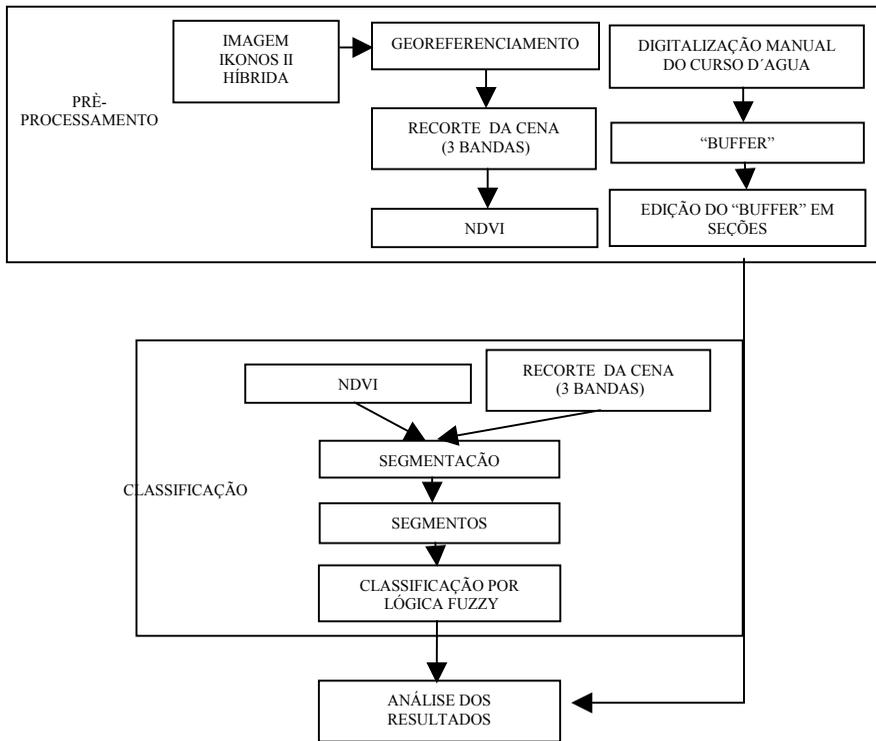
- ENVI 3.4 (registro e recorte da imagem)
- Ecognition 2.1 (segmentação e classificação orientada a objeto)
- ArcView 3.2 (digitalização e análise espacial)

- Excel 2000 (análise de bases de dados)
- Paint Shop Pro Version SHAREWARE 3.11 (processamento final das Figuras)

5.3. METODOLOGIA

A metodologia proposta é apresentada no fluxograma de FIGURA 04.

FIGURA 04: FLUXOGRAMA DO TRABALHO



A imagem IKONOS II híbrida foi georreferenciada por meio da mapa na escala 1:2000 de acordo com o Datum SAD 69. Posteriormente a mesma foi recortada para área piltoto da FIGURA 03 e foi feito um índice de vegetação (NDVI) com as bandas 3 (vermelho) e 4 (infra-vermelho próximo) pelo equação (01), porque o NDVI presta-se bem à classificação de vegetação. A equação (01) exemplica o cálculo do NDVI (RICHARDS e JIA, 1999).

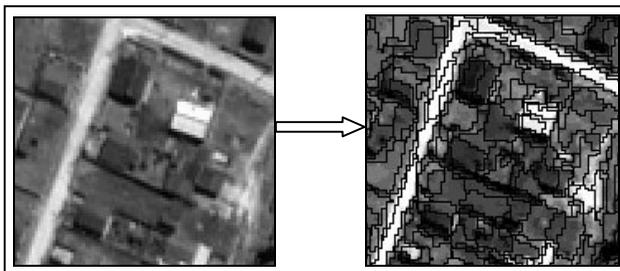
$$\text{NDVI} = (\text{banda 4} - \text{banda 3}) / (\text{banda 4} + \text{banda 3}) \quad (01)$$

Devido ao fato de no estudo presente estar se usando uma imagem a qual não está contemplada no cálculo do NDVI do programa ENVI 3.4, foi necessário acrescentar à fórmula o valor, que é mostrado pela equação (02).

$$\text{NDVI}_2 = 128 + 100 * \text{NDVI} \quad (02)$$

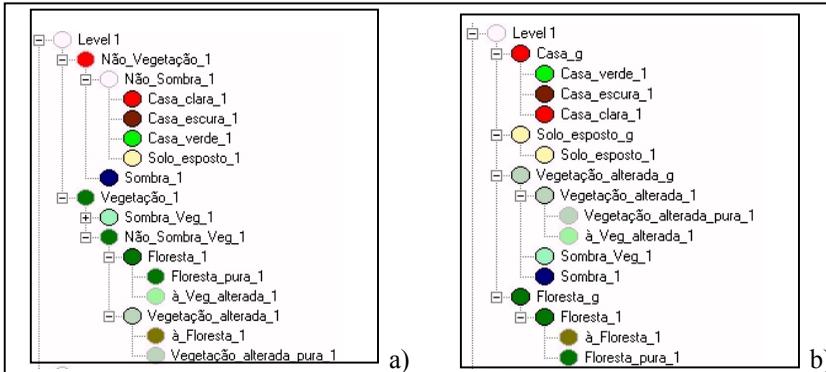
Como foi feito uma classificação baseado ao objeto, o seguinte passo foi segmentar a imagem através do programa eCognition 2.1. Nesta segmentação o NDVI foi inserido como uma banda extra. Na segmentação a imagem é dividida em regiões uniformes utilizando o algoritmo de crescimento de regiões. Um parâmetro de escala limita o tamanho do segmento. O balanço entre a forma dos segmentos e sua uniformidade espectral é responsável pelo crescimento direcionada dos mesmos. A forma é avaliada segundo os critérios de compatidade e suavidade. A segmentação tem grande importância, porque em cima dela baseia a criação dos descritores dos segmentos e portanto deve ser a melhor possível. Segundo o conceito do objeto um segmento deve seguir os contornos de objetos reais, mas isto ainda é uma situação ideal. Por isso os parâmetros da segmentação devem ser no mínimo aceitáveis de acordo com o problema. Nos testes verificam-se que os segmentos se mostram ainda menor do que os objetos reais. Aumentando o parâmetro da escala, foram adicionadas áreas fora do objeto; então a solução viável foi definir o parâmetro de escala menor que não englobasse aos objetos reais parte de outros objetos. No caso deste trabalho foram executados experimentos e os seguintes parâmetros foram aceitos: de escala 15; cor 0.3 e forma 0.7; da forma compactidade 0.5 e suavidade 0.5. O resultado é mostrado em FIGURA 05. Como cada segmento tem informação de cor e forma, cada um é então descrito por um conjunto de variáveis associado a eles.

FIGURA 05 - SEGMENTAÇÃO



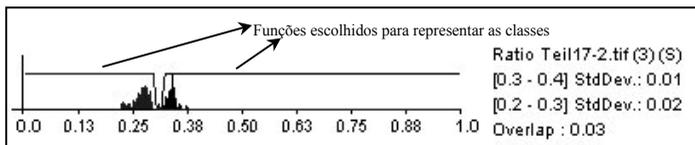
Com a segmentação definida escolheu-se as classes a partir da fotointerpretação. Estabelecidas as classes pode-se definir uma hierarquia (FIGURA 06 a) entre elas e escolher as funções de pertinência que melhor se ajustaram a cor e forma dos segmentos.

FIGURA 06 – HIERARQUIA (a) E AGRUPAMENTO (b) DAS CLASSES



As características de cor e forma permitem que sejam classificados os objetos através de funções de pertinência fuzzy. A FIGURA 07 mostra como é possível, no eCognition, introduzir e alterar as funções de pertinência até que essas separem as classes.

FIGURA 07 - CLASSIFICAÇÃO ATRAVÉS DE LÓGICA FUZZY



Ainda na FIGURA 07 encontra-se um dos descritores que caracteriza os segmentos: a razão (*ratio*), os desvios padrões e a sobreposição (*overlap*) das classes *casa_escura_1* e *casa_verde_1*.

Depois da classificação por meio de lógica fuzzy, alguns objetos não corretamente classificados, foram editados manualmente. Nesta edição manual as áreas classificados como floresta, mas na realidade só grupos de árvores esparsas foram incluídas à classe vegetação alterada. Tanto na classificação original como na classificação editada foi feito um agrupamento das classes para os grupos casa, solo exposto, vegetação alterada e vegetação arborea/floresta (FIGURA 06 b).

O curso d'água foi digitalizado (ArcView 3.2) e serviu de base para a análise de contexto espacial. Foi criado um *buffer* (análise área) referente a legislação florestal (Código Florestal) em vigor.

Para análise espacial o *buffer* foi particionado em seções que caracterizam o uso do solo. Cada seção foi separada analisando-se a homogeneidade do uso. A análise dos resultados foi baseado na sobreposição da imagem classificada e o *buffer* particionado.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. RESULTADOS E DISCUSSÃO DA CLASSIFICAÇÃO

FIGURA 08 e TABELA 02 mostram os resultados da classificação original e editada. Pela TABELA 02 pode se verificar, que somente 25 – 30 % da APP foram respeitados. O resto foi substituído em grande parte pela vegetação alterada, que inclui gramínea, arbustos e árvores esparsas, também como solo exposto e moradias (ao volta das 10 %).

Para a separação de vegetação e não-vegetação o NDVI se mostra uma ferramenta pertinente.

Uma tendência geral foi que áreas com casa foram classificadas como areia por causa da mistura espectral, conseqüentemente levando a uma segmentação errada, e portanto houve a necessidade de se editar para uma avaliação quantitativa. Ainda que tenha sido utilizado um parâmetro de escala menor e a forma houveram classes que foram fundidas erroneamente devido a semelhança espectral.

As áreas arbóreas que se encontravam classificadas como vegetação arbórea (floresta_1), foram alteradas, pelo contexto semântico, para pertencerem a classe vegetação alterada. Somente áreas coerentes/contínuas de vegetação arbórea valem como floresta.

Para ver as diferenças entre a classificação original e corrigida, mostra-se somente uma parte da imagem classificada na FIGURA 09.

A classificação tem limites, porque classes de objetos não coincidem sempre com classes espectrais, entretanto, a classificação se mostra aceitável.

FIGURA 08 – RESULTADOS DA CLASSIFICAÇÃO ORIGINAL (a) E CLASSIFICAÇÃO EDITADA (b)

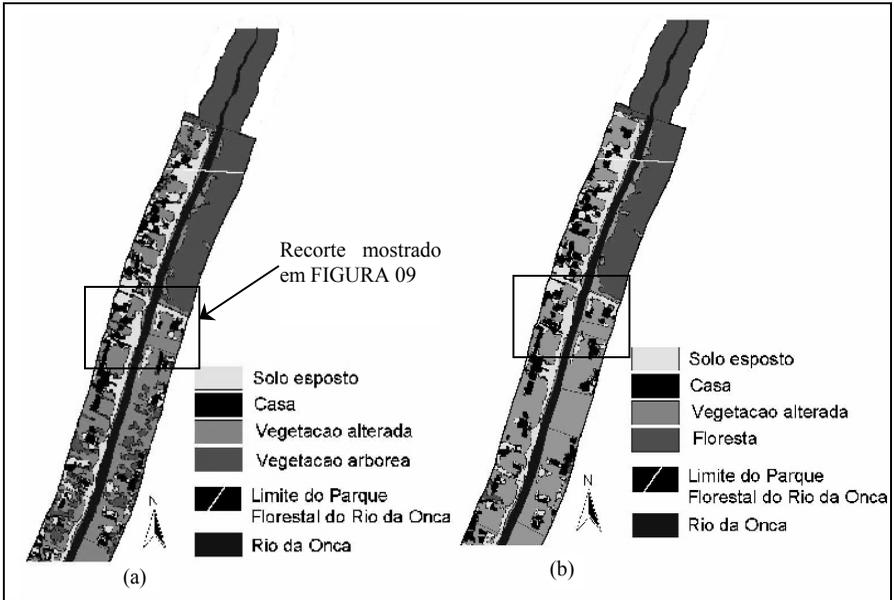
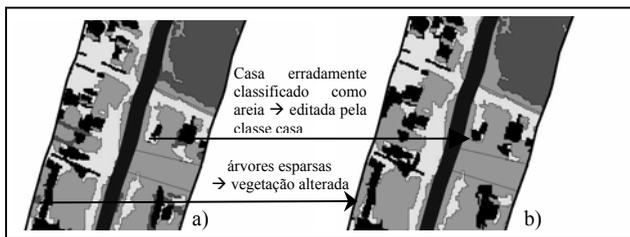


FIGURA 09 – DIFERENÇAS ENTRE A CLASSIFICAÇÃO ORIGINAL (a) E A CLASSIFICAÇÃO EDITADA (b)

TABELLA 02 – COMPARAÇÃO DAS ÁREAS DAS CLASSES (m²)

	Classificação original	Classificação editada
Casa/solo impermeavel	8883	11232
Solo exposto	17881	15825
Vegetação alterada	40739	49695
Vegetação arbórea/floresta	29370	20127
Área total	96879	96879

Como falta a banda azul por causa da fusão das imagens multiespectral falta informação espectral. Tendo aquilo, pode ser possível, que com a informação adicional a separação fica melhor possível.

5.2. RESULTADOS E DISCUSSÃO DA AVALIAÇÃO DA CLASSIFICAÇÃO

A classificação mostra que quase toda a área prevista como APP, foi ocupada irregularmente. Só na área cercada do Parque Florestal do Rio da Onça se encontra a APP coberta com 100 % de Floresta (FIGURA 09). A cerca existente não se encontra no limite correto do Parque como na mapa (1:10.000), mas sim entre 50 e 80 metros para dentro do Parque. A parte entre o limite oficial e a cerca ainda tem ocupações. A área sudeste adjacente do parque encercada manteve-se em torno de 90 % da floresta. As demais encontram-se urbanizadas. Se contendo vegetação arbórea, somente conjuntos de árvores ou árvores esparsas. Devido esse fato, na classificação manual essas árvores esparsas foram rotuladas na classe vegetação alterada. Conseqüentemente, toda a área se mostra deflorestada, apenas uma seção que ainda contém 8% de floresta. Por isso na legenda da FIGURA 09 os valores não aparecem com números contínuos. Na FIGURA 09 (a) não se encontra nenhum valor entre 32 e 89 %, na FIGURA 09 (b) entre 8 e 87 %.

A FIGURA 10 mostra a área impermeável na área de estudo que se caracteriza pelas moradias. Como foi dito no capítulo 5.1. e mostrado em TABELA 02, em torno de 30 % da área impermeável foram classificadas como areia, mas em geral observa-se que a área total é diferente. Visualmente nota-se, que na classificação a maioria das casas foram alocadas corretamente, mas com um tamanho menor do que o real. Para a avaliação qualitativa, o resultado é coerente.

FIGURA 09 –ÁREA DE VEGETAÇÃO ARBÓREA (a) E ÁREA DE FLORESTA

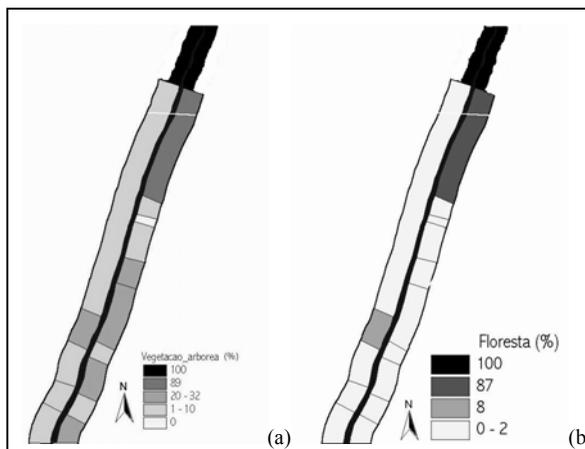
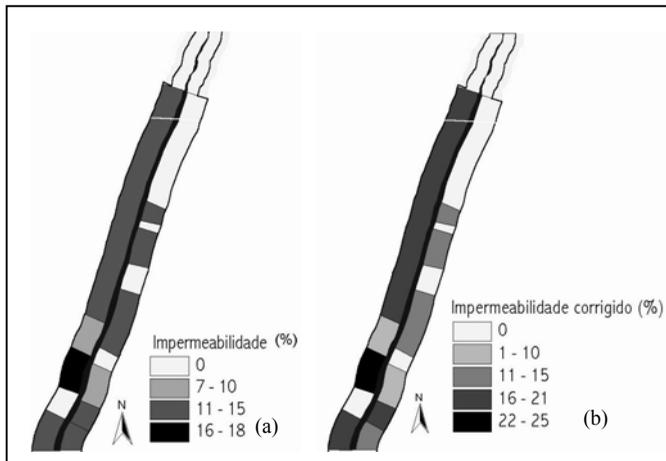


FIGURA 10 – ÁREA IMPERMEAVEL (CASAS) DA CLASSIFICAÇÃO ORIGINAL (a) E DA CLASSIFICAÇÃO EDITADA (b)



6. CONCLUSÕES

6.1. CONCLUSÕES TÉCNICAS

- A classificação com seus limites se mostra uma ferramenta útil para questões de planejamento ambiental.
- A segmentação é de grande importância porque ele funciona como base para todos os passos seguintes.
- O NDVI se mostra recomendável em estudos que envolvem vegetação.
- A tecnologia de imagens de alta resolução como IKONOS II se mostra adaptável e se torna fundamental quanto no planejamento como na gestão ambiental.
- Conclui-se que áreas de areia e algumas tipos de construções (cores de telhado) são dificilmente separáveis. Na imagem IKONOS II híbrida falta a banda azul. Por isso falta informação espectral. Neste ponto de vista seria interessante comparar os resultados entre uma classificação por meio do programa eCognition da imagem híbrida e uma classificação com as bandas multiespectrais e pan não fundidas, porque se pode inserir bandas de resoluções diferentes.

6.2. CONCLUSÕES DO PONTO DE VISTA AMBIENTAL

- Do ponto de vista de APP é recomendável que as áreas com solo exposto e gramíneas sejam recuperadas.
- As áreas com remanescentes florestais ou vegetação arbórea sejam preservadas, como ocorre no Parque Florestal do Rio da Onça.
- Em lotes onde ocorrem construções e que a desocupação não seja imediata, um paleativo é que seja valorizado um monitoramento sobre a impermeabilização.

7. REFERÊNCIAS

BIGARELLA, J. J. **Matinho: Homem e Terra – Reminiscências...**. 1.ed. Matinhos: Prefeitura Municipal de Matinhos: Associação de Defesa e Educação Ambiental, 1991. 212p.

RICHARDS, J. A., JIA, X. **Remote Sensing Digital Image Analysis – An introduction**. 3.ed. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 1999. 363 p.

ECognition. **User guide**. München: Definions Imaging, 2001.

FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA ; INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE) ; INSTITUTO SOCIOAMBIENTAL . **Atlas da evolução dos remanescentes florestais e ecossistemas associados no domínio da Mata Atlântica no período de 1990 – 1995**. Disponível em: <http://www.sosmatatlantica.org.br>. 2003.

BARELLA, W., PETRERE JR., M., SMITH, W. S., DE ASSIS MONTAG, L. F. As relações entre as matas ciliares, os rios e os peixes. In: RODRIGUEZ, R. R., LEITÃO FILHO, H. F. **Matas ciliares: Conservação e Recuperação**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo: Fapesp, 2000. 320 p. p.187-207.

LEAL, C. T. **A valoração paisagística aplicada ao planejamento ambiental urbano – estudo de caso do Município de Matinhos-PR**. Curitiba, 2002. 134 p. Dissertação (Mestre em Ciências do Solo). Curso de Pós-Graduação em Agronomia do Setor de Ciências Agrárias. Universidade Federal do Paraná.

Brasil. Lei Nº. 4.771, de 15 de setembro de 1965. Institui o novo Código Florestal. Disponível em: <http://www.sosmatatlantica.org.br>. 2003.

8. AGRADECIMENTOS

O estudo é apoiado financeiramente pelo UNIBRAL, um convênio entre o DAAD (Serviço de Intercâmbio Acadêmico Alemão) e CAPES (Comissão de Aperfeiçoamento de Ensino Superior) com a finalidade de ajuste dos cursos brasileiros e alemães, neste caso entre a UFPR e a Universidade Karlsruhe.

Eu agradeço aos professores autores e colaboradores do presente estudo, os meus colegas da Geomática e Engenharia Florestal para ajuda e apoio, Carmen Leal e Milton Luiz Brero de Campus do Conselho do Litoral para distribuição de informações e dados, todos as pessoas que estão envolvidas pela ajuda e discussões, a minha família que me deixou vir ao Brasil para experiências inesquecíveis e os meus amigos por amizades especiais.

MONORESTITUIÇÃO: UMA METODOLOGIA PARA GERAÇÃO RÁPIDA DE MAPEAMENTO URBANO DIGITAL A BAIXO CUSTO

Marcos B. Schimalski¹
Edson A. Mitishita²

¹Universidade do Contestado – Campus Canoinhas
mbs@cni.unc.br

²Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas
mitishit@geoc.ufpr.br

RESUMO

A disseminação dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG), encontra usuários em diversos setores da economia, principalmente, aqueles relacionados à prestação de serviços à população. Nesta modalidade se enquadram as empresas de fornecimento de energia/saneamento e as prefeituras. Estas últimas, porém, carecem de recursos financeiros a este fim, bem como, de pessoal qualificado para a manipulação/atualização do mapeamento e a utilização deste em um SIG. Em vista a este panorama, faz-se necessário o emprego de técnicas para a produção de mapas digitais que apresentem a melhor relação custo/benefício no que diz respeito à precisão e custos. Neste contexto, a Fotogrametria Digital, especificamente a Monorestituição, apresenta atrativos no que diz respeito à confiabilidade, rapidez e facilidade na obtenção das informações, com conseqüente redução de custos. A informação planimétrica obtida foi comparada com a equivalente obtida pela Fotogrametria Convencional. São destacadas as vantagens inerentes ao processo de obtenção das informações geográficas, bem como, a praticidade proveniente da geração do mapeamento no Geographics, uma vez que será eliminada a necessidade de disponibilização dos dados em outros formatos para a utilização no SIG. Adicionalmente, foi desenvolvida uma metodologia para representação das edificações com a utilização de símbolos cartográficos pontuais.

Palavras-chave: Fotogrametria digital; Sistemas de Informações Geográficas e Mapeamento Urbano.

ABSTRACT

The dissemination of the Geographic Information System (GIS) has users in a vast section of the economy, mainly the ones who offer services to the community. The

companies of electricity, and sanitation and to city halls are in this group. These ones, thus need money as well as qualified people to the manipulation, updating of the mapping and the utilization of this in a GIS. Having this panorama some techniques have to be used for the production of digital maps which show a better relation cost – benefit regarding the exactness and cost. In this context, a digital photogrametry, the Digital Mono-Plotter specially presents attraction concerning trust, speed and availability to get the information as a consequence of the reduction of the cost. To conclude the process, the planimetric information was compared to an equivalent got by conventional process. The advantages in the process of obtaining geographic information are emphasized as well as the practicability of the mapping in the Geographics once there will not be a need of the data in another way to the use in the GIS. Additionally, a methodology was developed to the representation of the edification using cartographic symbols points.

Keywords: Digital Photogrametry, Geografic Information System and Urban Maps.

1. INTRODUÇÃO

Com os incrementos populacionais das áreas urbanas e a formação de relações complexas com fatores inerentes ao meio, tornaram a questão do gerenciamento urbano extremamente complexa, mesmo para aquelas cidades cuja população é inferior a 100.000 habitantes. Como então manipular, diagnosticar e propor soluções? Como obter informações rápidas e precisas provenientes do espaço urbano?

O surgimento de questões desta ordem, aliado a outro fator decisivo: o desenvolvimento tecnológico alcançado pela informática habilitou mesmo para as pequenas cidades, a utilização dos Sistemas de Informações Geográficas - SIG (GIS – Geographics Information System).

Contudo, na implantação de um SIG, uma das primeiras etapas a ser alcançada é justamente a elaboração de bases cartográficas digitais das áreas de interesse. A técnica que é mais utilizada para este fim, atualmente, devido à rapidez na obtenção dos dados cartográficos, é o aerolevanteamento. Estes projetos são executados por empresas que utilizam equipamentos de custo elevado e mão-de-obra especializada, sendo que isto restringiu a expansão desta técnica no país. Neste contexto, a Monorestituição Digital surge como alternativa, pois não necessita de equipamentos caros e pessoal altamente treinado. É possível então, atualizar ou mesmo gerar bases cartográficas digitais a partir da aquisição das aerofotos em formato digital.

Utilizando-se dos recursos de microinformática e de ferramentas da Fotogrametria, Cartografia e Sistemas de Informações Geográficas foram procurados os seguintes objetivos:

- 1) Avaliar a utilização da Monorestituição Digital no mapeamento de áreas urbanas em escala grande;
- 2) Desenvolver uma metodologia para o mapeamento de áreas urbanas em escala grande, substituindo o traçado do contorno das edificações por símbolo cartográfico pontual;
- 3) Avaliar a utilização do item 2 no processo de geração de bases cartográficas digitais, verificando-se a sua funcionalidade;
- 4) Analisar a acurácia do mapeamento digital obtido pela Monorestituição Digital, através da comparação com o mapeamento obtido através da estereorestituição (Restituição Convencional);
- 5) Verificar a funcionalidade da aquisição de dados cartográficos diretamente em um SIG.

2. SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS

Segundo BONHAM (1997), Sistemas de Informações Geográficas (SIG) é um sistema computacional para gerenciamento de dados espaciais. Estes sistemas trabalham com dois espaços distintos:

- *Espaço Geográfico*: implica que a localização dos dados seja conhecida ou possam ser calculadas em termos de coordenadas geográficas;
- *Espaço Informação*: implica que os dados sejam organizados para um desempenho ótimo, propiciando a produção de mapas coloridos, imagens, gráficos estatísticos, tabelas e respostas para as mais variadas consultas.

Um SIG é habilitado a trabalhar com o espaço geográfico e o de informação produzindo resultados provenientes do cruzamento dos dados destes dois espaços. Desta maneira, os usuários obterão a visualização espacial das ocorrências dos seus dados armazenados em um banco de dados.

Já para KIMERLING (1992), considerando um ponto de vista puramente técnico, um SIG pode ser definido como a integração de um conjunto de configurações de programas e equipamentos computacionais para a coleção, armazenagem, estruturação, manipulação, análise e visualização de dados espaciais referenciados a um sistema de coordenadas geográficas. Isto reflete que os componentes físicos de um SIG, bem como o seu desempenho e correto funcionamento, dependerão de computadores com melhor desempenho de processamento e de pessoal qualificado para a sua operação.

3. MONORESTITUIÇÃO DIGITAL

A Monorestituição Digital é o processo no qual a obtenção de informações é feita a partir de uma aerofoto. Para que este trabalho tenha a precisão adequada será empregada uma formulação matemática que foi inicialmente proposta por MAKAROVIC (1973). Para este autor, a metodologia proposta poderia ser empregada principalmente para a atualização de mapas. Um monorestituído seria composto basicamente por três partes: monocomparador, computador e um plotador.

O processo de monorestituição consiste na transformação de coordenadas fotogramétricas (x_p, y_p), de pontos observados na aerofoto, para o referencial geodésico cartesiano tridimensional local (X_L, Y_L, Z_L), mediante a utilização das equações de colinearidade na forma inversa e da informação altimétrica do local. Utilizando parâmetros aproximados obtidos através da orientação espacial aproximada, as observações fotogramétricas são transformadas para o referencial geodésico local. A partir destas duas coordenadas (X_L, Y_L) aproximadas, obtêm-se no Modelo Digital do Terreno uma cota (Z_L) equivalente. Estes valores são então aplicados nas equações de colinearidade inversa. Solucionado este sistema de equações, de colinearidade inversa são obtidos novos valores para o par de coordenadas (X_L^{n+1}, Y_L^{n+1}), que são coordenadas mais precisas que aquelas utilizadas inicialmente. Com este novo par de coordenadas, obtêm-se um novo valor de cota no Modelo Digital do Terreno, e novamente são aplicadas as equações de colinearidade. Obtêm-se par de coordenadas (X_L^{n+2}, Y_L^{n+2}), que é então comparado com o anterior (X_L^{n+1}, Y_L^{n+1}). Este processo iterativo se repete até que as diferenças entre as coordenadas planimétricas calculadas nas iterações n e $n+1$ sejam compatíveis com a precisão pretendida para os trabalhos. A precisão adotada neste trabalho é equivalente às dos trabalhos desenvolvidos pela Fotogrametria Analítica e que consideram como o menor erro possível a marca estereoscópica, com diâmetro de 0,050 mm.

4.0 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 DEFINIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de pesquisa pertence ao quadro urbano da cidade da Lapa, no Estado do Paraná, distante cerca de 77 km da capital do Estado, Curitiba. Foram escolhidas quadras localizadas em áreas do centro e bairro (FIGURA 01), contemplando situações distintas para a proposta do trabalho.

FIGURA 01: ÁREAS DE ESTUDO (Centro/Bairro)



CENTRO



BAIRRO

4.2 MATERIAIS

Os seguintes materiais foram utilizados neste trabalho:

- Computador pessoal com processador matemático de 750 Mhz, 256 Mb de memória RAM, placa de vídeo de 16 Mb e monitor tela plana de 15";
- Estereoscópio de espelho;
- Filmadora Sony Handycam Digital;
- Programa Geographics J com aplicativo Geoterrain, da Empresa Bentley;
- Programa Monorestituído Digital, da Empresa Tecnomapa Computação Ltda;
- Programa Adobe Photoshop 5.0, da Empresa Adobe;
- Programa Access 2000 e Visual Basic 6.0, da Empresa Microsoft;
- Cópias heliográficas das fotografias aéreas em escala 1:8.000 da área urbana da cidade de Lapa;
- Duas fotografias aéreas (290 e 291) em escala 1:8.000 em formato digital (.tif);
- Certificado de Calibração de Câmara Aérea;
- Arquivos de Aerotriangulação contendo os pontos fotogramétricos codificados e as respectivas coordenadas UTM determinadas pela aerotriangulação;
- Arquivos digitais em escala 1:2.000, produzidos por restituição convencional contendo informação planialtimétrica.

4.3 METODOLOGIA

A metodologia adotada para o desenvolvimento dos trabalhos de pesquisa foi composta pelas seguintes etapas:

- Pesquisa de material de apoio na prefeitura;
- Adequação das aerofotos;
- Geração do modelo digital do terreno;
- Restituição Digital;
- Reambulação;
- Análise dos Arquivos Gerados;
- Implantação do Sistema de Informações Geográficas;

4.3.1 Pesquisa de Material de Apoio

Uma importante ferramenta de apoio foi solicitada junto a prefeitura municipal da Lapa: as informações cadastrais referentes a cada quadra urbana. Estas plantas contêm a descrição das benfeitorias existentes em cada lote urbano no ano da sua obtenção (1989). Estas plantas foram posteriormente convertidas para o meio digital (“escanerização”) sendo integradas ao sistema de informações geográficas.

4.3.2 Adequação das Aerofotos

As fotografias aéreas foram obtidas a partir de câmaras convencionais, isto é, o registro das imagens ocorreu em um filme. As cópias de cada negativo são então produzidas em papel ou filme transparente (diapositivo). Para converter estas imagens para o meio digital foi necessário a utilização de um “scanner” fotogramétrico, que digitaliza as imagens através do diafilme, que é também utilizado para a restituição convencional. Os arquivos digitalizados foram então gravados em formato TIF. A resolução geométrica das aerofotos digitais correspondeu a um “pixel” de 0,020 mm. Considerando a escala média das aerofotos como sendo 1:8.000, este valor equivale a 0,16 m no terreno.

4.3.3 Geração do Modelo Digital do Terreno

Para a geração do MDT foram utilizadas as curvas de nível provenientes da restituição convencional. A superfície numérica regular teve sua informação altimétrica extraída, com auxílio do Geoterrain, e armazenada em um arquivo digital contendo a coordenada tridimensional antecedida por um código (a, E, N, h).

Para a entrada do arquivo digital contendo a informação altimétrica, foi necessário converter o arquivo para o formato de entrada do programa

monorestituído digital (E, N, h). Outro problema que foi resolvido foram as coordenadas duplicadas, uma vez que a extração de informações considera cada elemento, ou seja, cada quadrado que compõe a malha. Para tanto, foi desenvolvida uma rotina de programação em Visual Basic visando a eliminação de coordenadas duplicadas.

4.3.4 Restituição Digital

Inicialmente, foram definidas as representações cartográficas: símbolos lineares e pontuais necessários à representação da informação de interesse. Os símbolos lineares corresponderam a representação das seguintes informações: ruas, caminhos, quadras, cercas, muros, praças e canteiros.

Para a representação das edificações foram utilizados símbolos pontuais. Apesar das facilidades de consulta em um SIG, optou-se por diferenciar os símbolos referentes as edificações residenciais, comerciais e públicas, uma vez que um dos produtos obtidos a partir do mapeamento digital é a impresso em papel.

A monorestituição digital foi implementada em duas etapas distintas:

- geração do arquivo digital contendo a informação planimétrica vetorizada;
- retificação do arquivo digital gerado.

4.3.5 Reambulação

A reambulação consistiu nas tarefas complementares de campo que permitiram a obtenção de toponímias (nome de ruas, de praças, escolas, etc), bem como a verificação e determinação de elementos que geraram dúvidas de interpretação no instante da vetorização. Adicionalmente foram obtidas imagens digitais das fachadas das edificações visando o seu emprego no banco de dados.

4.3.6 Análise dos Arquivos Gerados

Para verificação das precisões dos arquivos gerados pelo processo da monorestituição foram considerados como corretos os arquivos vetoriais provenientes da restituição convencional. Procedendo-se de igual maneira a CORTES (1998), TUDOR&SUGARBAKER (1993) e OIMOEN (1987) foram obtidas as coordenadas pontuais que compõem os elementos gráficos: quadras, cercas, muros e edificações obtidas pela monorestituição com as equivalentes obtidas através da estereorestituição.

4.3.7 Implantação do Sistema de Informações Geográficas

Normalmente, os trabalhos para a implantação de um SIG acontecem na seguinte sequência:

- geração das bases cartográficas;
- adequação das bases;
- padronização das informações alfa-;
- ligação do banco de dados alfa-numérico com a base cartográfica.

Neste trabalho a adequação da base cartográfica não foi necessária, uma vez que a geração do mapeamento ocorreu em um SIG.

4.0 RESULTADOS

4.1 RESULTADOS DA MONORESTITUIÇÃO DIGITAL

Concluídos os trabalhos de geração e edição da base cartográfica digital, procedeu-se a comparação dos arquivos obtidos pela monorestituição e restituição estereoscópica. Para tanto, foram extraídas (utilizando-se dos valores fornecidas pelo cursor) as coordenadas referentes as entidades obtidas pelos dois processos. Foram feitas comparações com os seguintes níveis de informação:

- pontos referentes as quadras definidas;
- pontos referentes a muros e cercas;

As edificações não foram consideradas no escopo da pesquisa, uma vez que seu traçado foi substituído pela representação por símbolo cartográfico.

Para proceder a análise dos erros, admitiu-se a precisão de um mapeamento aerofotogramétrico digital em função da escala média das aerofotos e do máximo erro tolerável no posicionamento da marca de medida (marca estereoscópica) num sistema fotogramétrico analítico, ou seja, o valor de 0,050 mm (MITISHITA&OLIVAS, 1999). Como a escala média das aerofotos utilizadas neste trabalho é 1/8.000, resulta em um erro admissível no mapeamento digital de 0,40 metros.

Referindo-se a ANDRADE (1998), pode ser empregado o erro padrão quando se diz que, ao valor de uma determinada medida está associado um determinado valor de desvio padrão, significa que há 68,27% de chance de que a média real esteja dentro do intervalo dado pela média amostral $\pm 1\sigma$, medida que recebeu a denominação de erro padrão.

As tabelas 01 e 02 apresentam as diferenças encontradas para as informações citadas.

TABELA 01 – COMPARAÇÃO ENTRE AS COORDENADAS PARA PONTOS REFERENTES AS QUADRAS DEFINIDAS

Monorestituição		Restituição Convencional		Diferenças	
E(m)	N(m)	E(m)	N(m)	$\Delta E(m)$	$\Delta N(m)$
628787,180	7148885,080	628786,930	7148885,620	0,250	-0,540
628811,570	7148710,560	628812,030	7148710,120	-0,460	0,440
628664,030	7148565,880	628663,760	7148565,230	0,270	0,650
628636,600	7148668,790	628636,900	7148669,220	-0,300	-0,430
628603,570	7148806,140	628603,840	7148805,960	-0,270	0,180
628565,750	7148944,500	628566,110	7148944,560	-0,360	-0,060
628414,410	7149044,250	628414,220	7149044,300	0,190	-0,050
628446,420	7148914,370	628446,950	7148914,590	-0,530	-0,220
628477,910	7148784,180	628478,040	7148784,090	-0,130	0,090
628510,670	7148650,940	628510,650	7148650,800	0,020	0,140
628632,150	7148561,700	628632,240	7148561,630	-0,090	0,070
629277,080	7149112,840	629276,850	7149112,810	0,230	0,030
629150,710	7148950,310	629151,390	7148950,340	-0,680	-0,030
629153,520	7148940,970	629153,652	7148941,139	-0,132	-0,169

As **médias** das discrepâncias absolutas para as coordenadas de pontos de quadras resultaram:

$$\Delta E = -0,142 \text{ m};$$

$$\Delta N = 0,007 \text{ m};$$

Os **desvios padrões** resultaram:

$$\Delta E = 0,308 \text{ m};$$

$$\Delta N = 0,309 \text{ m};$$

Considerando o erro padrão, obtêm-se um intervalo de confiança de $\pm 1\sigma$, (mais ou menos 1 desvio padrão), que corresponde a uma probabilidade de 68,27% da média estar contida no intervalo. Com isso os erros padrões resultaram em $\pm 0,308$ metros para a coordenada leste (E) e $\pm 0,309$ metros para a coordenada norte (N).

Analisando a tabela, verifica-se que 68,27% dos pontos para ambas as coordenadas estão dentro do intervalo especificado e estão dentro dos limites de erros aceitáveis para a referida escala de trabalho.

TABELA 02 – COMPARAÇÃO ENTRE AS COORDENADAS PARA PONTOS REFERENTES AS CERCAS E MUROS

Monorestituição		Restituição Convencional		Diferenças	
E(m)	N(m)	E(m)	N(m)	$\Delta E(m)$	$\Delta N(m)$
629.063,740	7.148.768,430	629.063,640	7.148.768,120	0,100	0,310
29.077,900	7.148.772,280	629.077,210	7.148.772,030	0,690	0,250
629.084,180	7.148.749,730	629.083,460	7.148.749,290	0,720	0,440
629.294,070	7.148.966,710	629.294,500	7.148.966,420	-0,430	0,290
629.300,530	7.148.969,920	629.300,760	7.148.969,790	-0,230	0,130
629.317,370	7.148.963,580	629.316,810	7.148.963,880	0,560	-0,300
629.218,380	7.148.984,270	629.218,150	7.148.984,272	0,230	-0,002
629.171,120	7.148.982,560	629.170,990	7.148.982,940	0,130	-0,380
629.074,730	7.148.989,800	629.074,730	7.148.989,950	0,000	-0,150
629.094,780	7.149.001,730	629.095,440	7.149.001,670	-0,660	0,060
628.948,640	7.149.095,820	628.948,950	7.149.096,120	-0,310	-0,300
629.018,840	7.149.095,460	629.018,810	7.149.095,650	0,030	-0,190
629.088,200	7.149.132,110	629.088,690	7.149.132,370	-0,490	-0,260
629.044,720	7.148.913,360	629.044,760	7.148.913,880	-0,040	-0,520
629.083,850	7.148.891,880	629.083,600	7.148.892,040	0,250	-0,160
629.065,810	7.148.839,420	629.065,900	7.148.839,990	-0,090	-0,570
629.117,410	7.148.763,950	629.117,190	7.148.763,550	0,220	0,400
629.073,090	7.148.740,510	629.073,530	7.148.740,608	-0,440	-0,098

Para as cercas e muros foram obtidas as seguintes **médias** absolutas das discrepâncias:

$$\Delta E = 0,013 \text{ m};$$

$$\Delta N = 0,323 \text{ m};$$

Os **desvios padrões** resultaram:

$$\Delta E = 0,399 \text{ m};$$

$$\Delta N = 0,310 \text{ m}.$$

Aplicando-se o conceito de erro padrão encontra-se um intervalo de erro aceitável de $\pm 0,399$ metros para as coordenadas (E) e $\pm 0,310$ metros para as coordenadas (N). Com isso, verifica-se que 68,27% dos pontos testados estão dentro dos erros aceitáveis para a escala da aerofoto (0,40 metros).

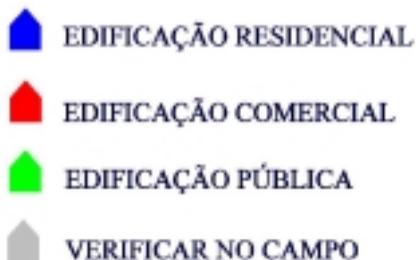
Com relação as edificações, como não se tem informações altimétricas que permitam o modelamento matemático de uma superfície que leve em conta as alturas das edificações, as coordenadas planimétricas dos pontos que definem a

edificação são fortemente afetadas pelo deslocamento da imagem devido a projeção central que varia em função da altura da edificação e sua localização no quadro negativo, em relação ao ponto principal da aerofoto (MITISHITA&OLIVAS, 1999). Aliado a isto, cita-se novamente, que as prefeituras tem todos os seus dados atrelados a unidade fiscal mínima que é o lote urbano, portanto, para a maioria das aplicações em SIG bastaria a representação dos limites dos lotes urbanos.

4.2 CRIAÇÃO DOS SÍMBOLOS PONTUAIS

Para representar as edificações existentes, foram utilizados os símbolos pontuais abaixo:

FIGURA 02 – SÍMBOLOS CARTOGRÁFICOS CRIADOS PARA A REPRESENTAÇÃO DAS EDIFICAÇÕES



Foram criados quatro categorias referentes as edificações visando facilitar a consulta ao mapa impresso. Estas quatro categorias dizem respeito as edificações residenciais, públicas e comerciais. O quarto símbolo foi criado especialmente para indicar aqueles lotes com alterações, o que otimiza os trabalhos de campo referentes ao cadastro. Visando tornar os símbolos compatíveis com a escala proposta, de tal maneira a serem visualizados facilmente em uma impressão, optou-se em dimensioná-los com uma área equivalente a 95 metros.

Para a obtenção do mapeamento das duas áreas, que totalizaram 0,35 km², foram necessárias 2,8 horas de trabalho. Baseados neste valores, estima-se que sejam necessárias 8 horas de trabalho por quilômetro quadrado. No processo convencional de restituição de áreas urbanas isto equivaleria a pelo menos 30 horas de trabalho.

Como o processo de monorestituição digital requer equipamentos de baixo custo e pessoal com menor qualificação, isto torna-se bastante atrativo e possibilita o acesso a bases cartográficas com menor custo.

4.3 CUSTOMIZAÇÃO DO SIG

Concluída a criação do mapeamento digital foram realizadas as atividades inerentes a implementação do SIG. Procedeu-se a limpeza topológica e a criação das áreas correspondentes aos lotes urbanos obtidos através das aerofotos e complementados com o auxílio das plantas referentes a disposição destes em cada quadra (cadastro da prefeitura).

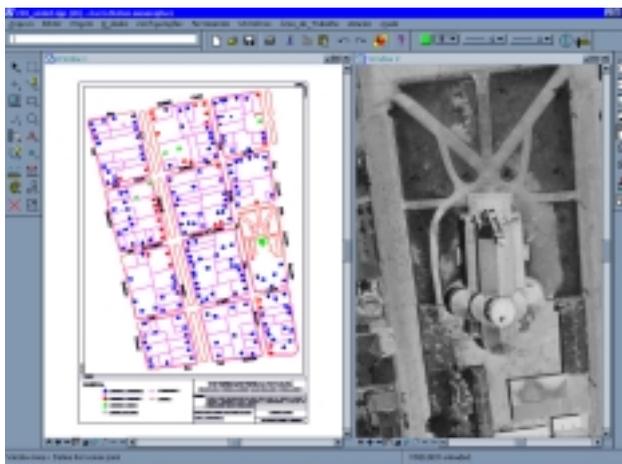
Devido a ordenamento interno da Prefeitura Municipal da Lapa, que preza pelo sigilo das informações referentes aos contribuintes foram cedidos somente os dados analíticos referentes a uma quadra, localizada na área 01. Isto, porém, foi suficiente para a verificação da funcionalidade do SIG.

De posse das informações referentes a cada indicação fiscal da quadra fornecida, foi criado o banco de dados relacional utilizando-se o Access. O campo referente ao número da indicação fiscal, que é um valor único, foi utilizado como código de ligação do banco de dados relacional com a base cartográfica digital.

Em etapa posterior, foram criados os códigos (textos) referentes a cada lote urbano no mapa digital. Para tanto, foi utilizada a ferramenta de geração automática de centróides do programa Geographics. Os centróides (textos nodais), localizados no centro geométrico de cada parcela urbana, foram editados, de tal maneira que o seu valor corresponda a indicação fiscal do lote. Esta, é portanto, uma das etapas primordiais na criação de um SIG pois se o texto editado estiver incorreto, poderão ocorrer associações que produzirão erros não mensuráveis.

Para a customização do SIG foi realizada a tradução dos menus para a língua portuguesa e a disponibilidade das ferramentas mais utilizadas. Se necessário novas ferramentas poderão ser acionadas. A Figura 26 apresenta o ambiente customizado do Geographics.

FIGURA 03 – INTERFACE CUSTOMIZADA DO PROGRAMA GEOGRAPHICS



Com a customização, o ambiente de trabalho do SIG mostrou-se simplificado e agradável. A facilidade na obtenção de consultas, mapas temáticos, zonas (buffers) e análise topológica e ainda as ferramentas disponíveis pelos aplicativos como o Geoterrain, tornam este SIG apto a solucionar grande parte das necessidades das municipalidades. A figura 03 apresenta o ambiente de consulta ao banco de dados.

FIGURA 04 – FORMULÁRIO PRINCIPAL DA INTERFACE DE CONSULTA AO BANCO DE DADOS

The screenshot shows a web-based data query interface. At the top left, there is a breadcrumb trail: 'Dados Analíticos > Imagens'. The main form contains several fields: 'INDICAÇÃO FISCAL' with the value '7-23-205-1348'; 'NOME' with 'MELHORE DOBROCAMENTO'; 'ENDEREÇO' with 'Rua Dr. Joaquim Leães de Lacerda'; 'TIPO DE CONSTRUÇÃO' with 'Alvenaria'; 'ÁREA DECLARADA' with '0'; 'ÁREA MEDIDA' with '150'; and 'SITUAÇÃO' with 'Verificar em campo'. To the right, there is a 'CLASSIFICAÇÃO' dropdown menu. Below the form, there is a red circle with a question mark icon, a small map icon labeled 'Ver Mapa' with a tooltip 'Visualizar o Mapa', and a large photograph of a white house with a red roof. The text 'FACHADA DA EDIFICAÇÃO' is written in red above the photo. At the bottom left, the date and time '12/Set/01 14:30' are displayed.

A detecção de diferenças entre os imóveis declarados (cadastrados) pode ser feita visualmente utilizando o sub-formulário da interface de consultas. A Figura 05 apresenta este sub-formulário.

FIGURA 05 – SUB-FORMULÁRIO PARA VERIFICAÇÃO VISUAL



O cruzamento visual da informação cadastrada (planta de quadra) na prefeitura com a real ocorrência que é mostrada na aerofoto (vista aérea da quadra) pode ser realizado facilmente. Com isto, o usuário pode identificar aqueles lotes cujas edificações cadastradas sejam diferentes das mostradas na aerofoto e inserir ou alterar o símbolo da edificação (cor cinza) na base cartográfica digital que está armazenada no Geographics. Os mapas digitais verificados podem ser impressos e servem para orientar os trabalhos da equipe de campo responsável pelo cadastro dos imóveis. Desta maneira somente visitam-se no campo as edificações previamente assinaladas. Nota-se que a detecção de possíveis diferenças tornou-se facilitada, e a inserção ou alteração da do símbolo da edificação detectada poderá ser feita facilmente.

5.0 CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos neste trabalho, pode-se concluir que:

- Para a implantação de um sistema de informações geográficas nas municipalidades, uma base cartográfica que contemple os arruamentos, quadras, lotes e as toponímias será suficiente, uma vez que os dados nas prefeituras estão relacionados a identificação de cada parcela urbana (unidade fiscal mínima);

- O traçado dos contornos das edificações é facultativo, uma vez que para a cobrança do Imposto Predial Territorial Urbano (IPTU) é considerada a área construída e não área coberta da edificação;

- O processo de monorestituição pode ser empregado pela grande maioria das municipalidades, pois os equipamentos envolvidos tem custo reduzido e necessita de pessoal com menor qualificação para a geração da base cartográfica;

- A deficiência de extração de informação de uma aerofoto singular, no que diz respeito a interpretação dos dados é amenizada através da utilização de um estereoscópio de espelhos. A utilização deste equipamento significa redução de custos, uma vez que dúvidas relacionadas a monoscopia podem ser solucionadas no instante da aquisição da informação.

6.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, JOSÉ BITTENCOURT. **Fotogrametria**. Curitiba: 1998.

BONHAM, GRAEME. **Geographic Information Systemns for Geoscientists: Modelling with GIS**. 5. ed. Ontario: Delta Printing, 1997.

CÔRTEZ, JOÃO BATISTA RAMOS. **Uso de Fotografias Aéreas de Pequeno Formato Digitalizadas, em Mapeamento Topográfico Planimétrico**. Curitiba,

1998. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná.

KIMERLING, A. JON . **Basic Cartography for Students and Technicians**. Londres: Butterworth and Heinemann, 1992, vol. 3.

MAKAROVIC, B. Digital Mono-ploters. **ITC Journal**, vol. 4, 1973, pp. 583-599.

MITISHITA, E.; OLIVAS, M. Construção de Base Cartográfica Digital Urbana por Monorestituição Digital. In: COLÓQUIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS, 1., 1999, Curitiba. **Anais...** Curitiba: UFPR, Setor de Ciências da Terra, Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, 1999.

OIMOEN, DANIEL C. Evaluation of a Tablet Digitizer for Analytical Photogrammetry. **Photogrammetry Engineering and Remote Sensing**. Vol. 53, n. 6, 1987, pp. 601-603.

TUDOR, GREGORY S; SUGARBAKER, LARRY J. Gis Orthographic Digitizing of Aerial Photographs by Terrain Modelling. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**. Vol. 59, n. 4, 1993, pp. 499-503.

VIABILIDADE DA IDENTIFICAÇÃO DE VARIEDADES DE VIDEIRA PELAS DIFERENÇAS OBSERVADAS NA RESPOSTA ESPECTRAL DAS FOLHAS

Naíssa Batista da Luz¹
Débora Liria Fonseca²

- 1 Pesquisadora do Centro Nacional de Pesquisas em Uva e Vinho, Unidade da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Bento Gonçalves – RS.
naissa@cnpuv.embrapa.br
- 2 Estagiária do curso técnico em agricultura da Escola Agrotécnica Federal Presidente Juscelino Kubitschek, Bento Gonçalves – RS

RESUMO

O avanço do agronegócio vitivinícola nacional nas últimas décadas é notório, e a demanda por tecnologias que subsidiem o processo de tomada de decisão no manejo das áreas cultivadas com videira vem aumentando nos últimos anos. A viabilização de técnicas de mapeamento e monitoramento remoto das áreas cultivadas nas principais regiões vitivinícolas do país, sobretudo na região da Serra Gaúcha no RS, é dificultada pelas características do relevo e pelo grande número de variedades, as quais nem sempre são cultivadas em áreas homogêneas junto às pequenas propriedades. Considerando-se que a existência de diferenças na resposta espectral destas variedades poderiam ser detectadas mais facilmente nas folhas, por ser a escala mais elementar, iniciou-se estudos com espectroradiometria. Foram mensuradas as folhas de variedades de videira cultivadas em áreas experimentais do Centro Nacional de Pesquisa de Uva e Vinho, com o auxílio de um espectroradiômetro portátil marca Li-Cor modelo Li-1800. Foram detectadas diferenças significativas em todos os comprimentos de onda, sendo possível separar algumas variedades e dois grandes grupos de variedades. A perspectiva é bastante promissora, haja visto a alta separabilidade espectral da variedade Isabel, cultivada em aproximadamente 40% da área total (CADASTRO VITÍCOLA DO RIO GRANDE DO SUL, 2001).

Palavras-chave: espectroradiometria; comportamento espectral; variedades de *Vitis* spp.

ABSTRACT

The progress of the national grape and wine agribusiness in the last decades is notorious, and the demand for technologies that support the decision making process of vineyard management have increased in the last years. Remote mapping and monitoring techniques deployment in the cultivated areas of the main vine growing regions of the country, above all in Serra Gaúcha's area in RS, is hindered by the relief's characteristics and the great number of varieties, which not always have been cultivated in homogeneous areas close to the small properties. Considering that the differences in the spectral response of these varieties could be detected more easily in the leaves, as the most elementary unit, studies have began with spectroradiometry. Vine leaves varieties were measured from plants cultivated in experimental areas of the Centro Nacional de Pesquisa de Uva e Vinho, with the aid of the Li-1800 portable. Significant differences were detected in all the wavelengths, demonstrating the possibility to distinguish some varieties and two great groups of varieties. The perspective is quite promising, considering the high separability of Isabel variety spectral response, cultivated in approximately 40% of the total area. (CADASTRO VITÍCOLA DO RIO GRANDE DO SUL, 2001).

Keywords: spectroradiometry; spectral behavior; *Vitis* spp. varieties.

1. INTRODUÇÃO

A principal região produtora de vinhos finos no Brasil é a Serra Gaúcha situada no nordeste do Rio Grande do Sul. Nesta região, as videiras são cultivadas em pequenas propriedades que empregam mão-de-obra familiar, inseridas em um relevo bastante acidentado e pouco mecanizável. Somando-se estas características ao fato de que existe um grande número de variedades de videira, por vezes em uma mesma propriedade ou área cultivada, fica clara a dificuldade de mapeamento remoto dos cultivos.

A agroindústria nacional e regional tem evoluído bastante nas últimas décadas (PROTAS *et al.*, 2002), e a necessidade de produtos obtidos a partir de sensores remotos naturalmente deve acompanhar esta tendência. À medida que as exigências do mercado consumidor crescem, deve haver um incremento tecnológico no processo de tomada de decisão e no manejo das áreas cultivadas, tanto por necessidade de otimização no uso dos recursos e consequente otimização dos dividendos quanto pela redução dos impactos ambientais negativos, a exemplo do que vem ocorrendo nos países desenvolvidos com aplicação de tecnologias de agricultura de precisão (LUCHIARI, 2003).

Diante deste contexto, é essencial a geração de informações a respeito do comportamento espectral das variedades de maior interesse econômico regional e nacional, que subsidiem a análise da viabilidade de identificação de variedades de *Vitis* spp. e da detecção de alterações nas condições fisiológicas e estruturais das plantas. Optou-se portanto pela obtenção de informações a respeito das folhas, nível mais elementar de um estudo de radiometria da vegetação, em um primeiro momento. Considerando-se que neste nível seria possível a obtenção de informações de extremamente detalhadas, possivelmente os resultados obtidos não se propaguem em mesma escala ao dossel das áreas cultivadas, que sofrem interferência da geometria de visada, da disposição e do número de camadas de folhas, do tipo de cobertura e do solo e tantos outros fatores (GAO *et al.*, 2000). Assim, caso existam diferenças espectrais suficientes para a identificação de variedades ou grupos de variedades e alterações fisiológicas e estruturais, certamente se manifestarão em escala foliar.

Na região do visível, informações a respeito do teor de pigmentos e da atividade fisiológica das plantas podem ser levantadas, dada a alta correlação destes comprimentos de onda com a absorção da energia fotossinteticamente ativa (THOMAS e GAUSMAN, 1977 ; PALTA, 1990; GAMON e SURFUS, 1990; YODER *et al.*, 1995). A estrutura foliar é mais facilmente detectada a partir de sensores remotos que operam na região do infravermelho, sobretudo no que diz respeito ao número de camada de células, à disposição destas células, à proporção de espaços intercelulares, ao teor de umidade e de determinados nutrientes, além das

características da superfície foliar, como pilosidade e a presença de ceras ou outros exudados (FOURTY *et al.*, 1996).

2. OBJETIVOS

Caracterizar a resposta espectral de folhas de diferentes variedades de *Vitis* spp., visando a identificação dessas variedades a partir de sensores remotos. As atividades realizadas para atingir este objetivo foram:

- Mensuração da resposta espectral de folhas das variedades de *Vitis* spp. Auxerrois, Cabernet Franc, Cabernet Sauvignon, Chardonnay, Chenin Blanc, Gamay, Gewürztraminer, Goethe, Isabel, Jacquez, Malvasia Bianca, Niágara Branca, Pinot Noir e Riesling.
- análise das diferenças entre as assinaturas espectrais típicas das variedades de *Vitis* spp.,
- análise da separabilidade espectral, em escala foliar, das variedades de *Vitis* spp.

3. METODOLOGIA

3.1. MATERIAL

Para a mensuração da resposta espectral das folhas das variedades de *Vitis* spp., utilizou-se um espectrorradiômetro portátil modelo Li-1800 da marca Li-Cor, em conjunto com a esfera integradora externa modelo 1800-12 S de mesma marca. Como referência de reflectância, foram utilizadas placas de sulfato de bário.

As plantas cujas folhas foram mensuradas subsistem em condições microclimáticas de relevo, solos e manejo bastante semelhantes, nos plantios experimentais e bancos ativos de germoplasma do Centro Nacional de Pesquisa de Uva e Vinho, em Bento Gonçalves, RS, da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA. Não foram utilizadas plantas com qualquer tipo de tratamento experimental.

Os dados obtidos foram transformados e analisados nos softwares Statística 6, R e Excel.

3.2. MÉTODOS

Foram selecionadas pelo menos seis plantas de cada variedade, e para cada uma das plantas foram mensuradas cinco folhas totalmente desenvolvidas e com ausência de fungicida formulado a base de sulfato de cobre. Para todas as folhas foram realizadas duas mensurações consecutivas, armazenando-se o dado médio das duas

observações. As plantas encontravam-se, por ocasião da coleta de dados, em estágio de pleno desenvolvimento vegetativo, no período entre início de janeiro e março.

As medidas foram realizadas “in vivo”, para que não houvesse perda água e alteração na atividade fotossintética da folha, caso fosse destacada da planta e submetida a fontes de iluminação em laboratório.

A placa de referência foi mensurada em média 1 vez a cada 20 observações, sempre no início e final da cada período de coleta de dados, igualmente por meio de duas mensurações consecutivas e armazenando-se o valor médio. A média dos dois valores armazenados foi utilizada como referência para os dados coletados no período.

Os dados brutos foram corrigidos no software Excel, com base nos valores obtidos para a mensuração da placa de referência, resultando no fator de reflectância bidirecional (Equação 01). Os dados corrigidos foram depurados para exclusão de observações discrepantes, obtidas quando feixes de luz externa à esfera integradora incidem sobre a amostra e a fibra ótica (valores excessivamente altos), ou quando houveram falhas de iluminação (valores baixos ou negativos).

$$\frac{L_a}{L_r} \quad 01$$

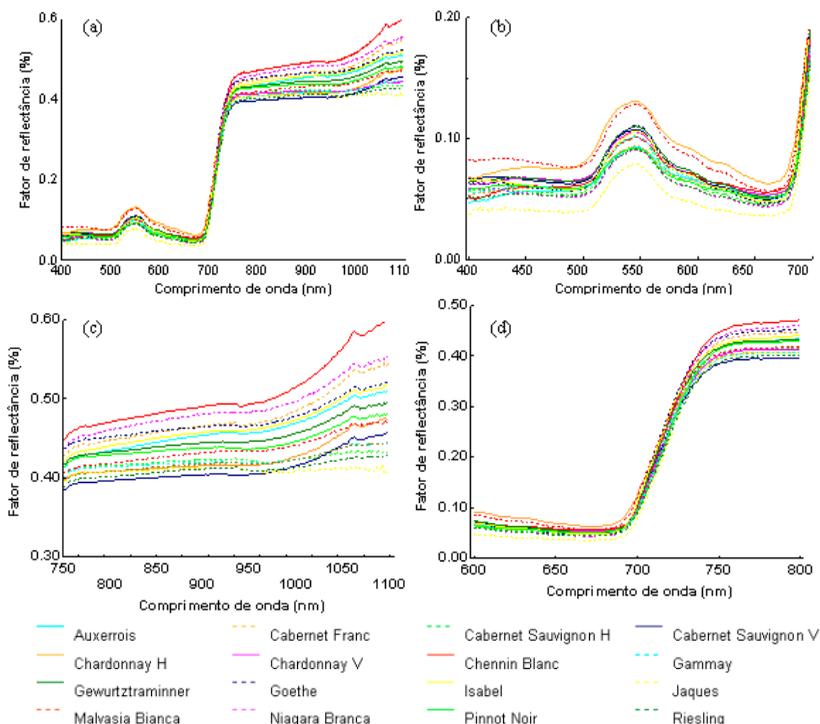
Onde: L_a : reflectância da amostra e L_r : reflectância média da placa de referência de sulfato de bário.

O software Statistica foi utilizado para a realização das análises de variância pontuais (por comprimento de onda, de 50 em 50nm no intervalo entre 400 e 1100nm) e análises multivariadas de componentes principais e de agrupamentos.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Analisando-se a resposta espectral obtida pela mensuração das folhas de variedades de *Vitis* spp. (Figura 1a), observa-se que as diferenças são mais acentuadas na região do infravermelho próximo, associada à estrutura das folhas; do que na região do visível, diretamente relacionada com o teor de pigmentos e a atividade fotossintética (citação4). Nos demais gráficos (Figura 1b, c e d), as diferenças nas respostas espectrais são visualizadas com maiores detalhes. Na região do visível, algumas variedades se diferenciam das outras, principalmente no pico de reflectância do verde, como a Malvasia Bianca e a Chardonnay, com maior reflectância do que o restante, e a variedade Jacquez com reflectância menor.

FIGURA 1. (A) RESPOSTA ESPECTRAL TOTAL (300 A 1100 nm) DE FOLHAS DE VARIEDADES DE *Vitis* spp., AMPLIAÇÃO DA RESPOSTA ESPECTRAL NAS REGIÕES DO VISÍVEL (B), RED EDGE (C) E INFRAVERMELHO PRÓXIMO (D)



Na região do infravermelho podem-se evidenciar diferenças mais acentuadas entre todas as variedades, sem destaque de nenhuma delas. Na região de transição do visível para o infravermelho próximo, comumente conhecida como “red edge”,

observa-se um deslocamento do ponto de inflexão da curva de resposta espectral, destacando-se as mesmas variedades citadas para a região do visível, Chardonnay e Malvasia Bianca, com maior reflectância e a variedade Jacquez, com menor reflectância. No entanto, percebe-se que o intervalo entre as curvas não se mantém constante nesta faixa de transição, entre 680 e 710nm.

Esta tendência também pode ser observada na Tabela 1 e na Figura 2, que apresentam os dados da análise de variância entre as variedades para determinados comprimentos de onda, para um nível de significância de 5%. Contudo, diferenças significativas são observadas em todos os comprimentos de onda.

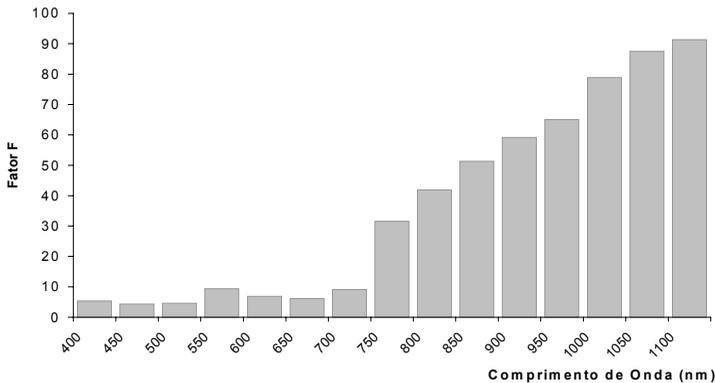
TABELA 1. ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA DETERMINADOS COMPRIMENTOS DE ONDA, COM NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA DE 0,05% E F TABULAR=1,69 (** SIGNIFICA RESULTADO ALTAMENTE SIGNIFICATIVO).

Comprimento de onda (nm)	F
400	5.38 **
450	4.38 **
500	4.59 **
550	9.38 **
600	6.88 **
650	6.18 **
700	9.09 **
750	31.57 **
800	41.83 **
850	51.28 **
900	59.13 **
950	65.04 **
1000	78.81 **
1050	87.47 **
1100	91.34 **

Pode-se observar também na Tabela 1 que existem diferenças significativas a um nível de significância de 5% em todas as bandas analisadas, ainda que diferenças mais acentuadas sejam detectadas na região do infravermelho próximo, conforme evidenciado pela Figura 2.

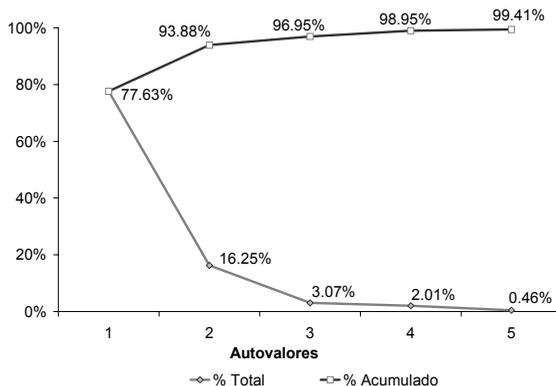
Na região do visível, o comprimento de onda do verde (550 nm), correspondente ao pico de reflectância da clorofila, apresenta um valor de F levemente mais alto do que as feições de absorção dos pigmentos, que parecem ter um comportamento mais homogêneo entre as respostas espectrais das variedades de videira.

FIGURA 2. VALORES DO FATOR F PARA UM NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA DE 5% PARA DETERMINADOS COMPRIMENTOS DE ONDA.



O cálculo das componentes principais demonstrou-se extremamente útil na definição das regiões do espectro de maior importância para a diferenciação das variedades. Na Figura 3 observa-se que foi possível, através desta análise, representar em duas componentes aproximadamente 93% da variação das 400 bandas espectrais analisadas.

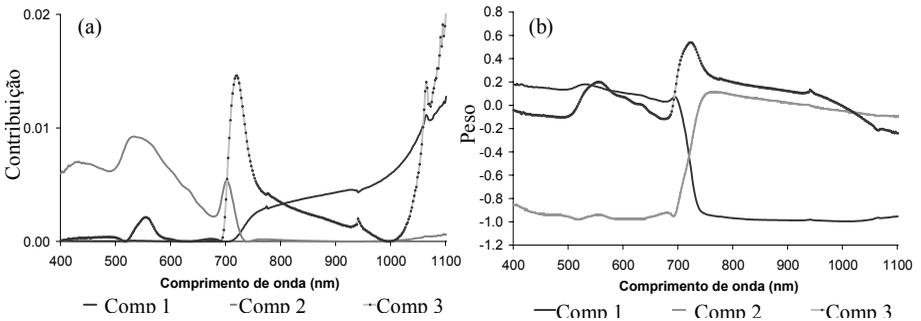
FIGURA 3. PERCENTUAL DE REPRESENTAÇÃO DOS CINCO PRIMEIROS AUTOVALORES OBTIDOS ATRAVÉS DA MATRIZ DE COVARIÂNCIA E O PERCENTUAL ACUMULADO.



Na Figura 4 demonstra-se a contribuição e o peso das três primeiras componentes principais. Evidencia-se o peso da região do infravermelho próximo na primeira componente, que representa mais de 77% do conjunto de espectros

analisados. A segunda componente (que explica mais do que 15% do percentual total dos dados) tem forte influência da região do visível, e a terceira provavelmente traz a variação do pico de reflectância do verde na região do visível e do “red edge”, na transição dos comprimentos de onda do vermelho para o infravermelho. Com base nestas informações, pode-se presumir que as diferenças na estrutura celular das folhas, quer seja em número de camadas ou disposição de células e espaços intercelulares, relacionada à região do infravermelho próximo (citação6) é mais importante na diferenciação das variedades de *Vitis* spp.do que o teor de pigmentos e a atividade fotossintéticas das plantas, relacionados à região do visível (citação7).

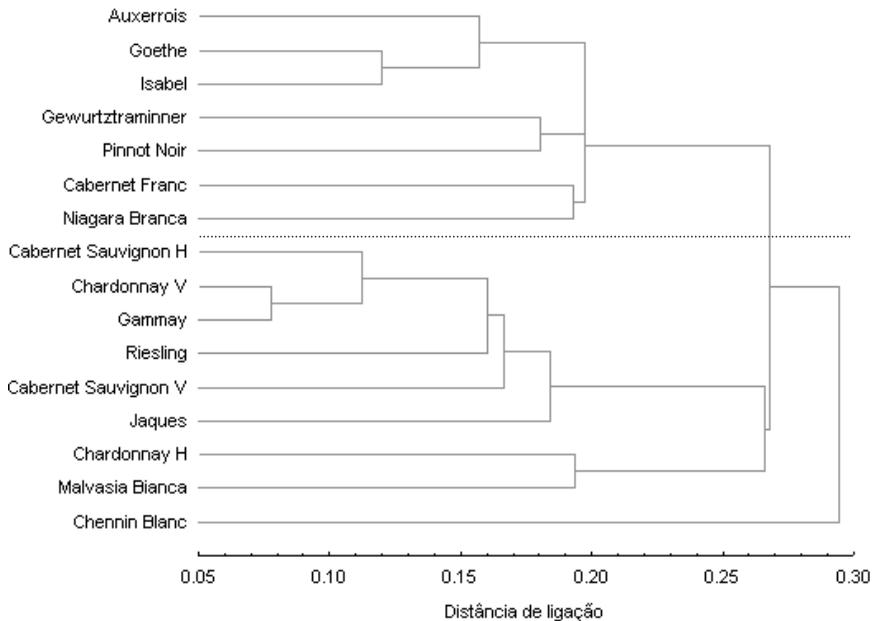
FIGURA 4. CONTRIBUIÇÃO (a) E PESO (b) DOS FATORES NAS COMPONENTES PRINCIPAIS 1, 2 E 3.



Quando as diferentes regiões do espectro são comparadas, é possível perceber alterações na resposta espectral das folhas das variedades analisadas, que poderiam viabilizar sua identificação espectral, ou separar grupos de variedades. Na Figura 5 observa-se a distância euclidiana entre a resposta espectral das variedades, podendo ser identificados grosseiramente dois grupos de variedades mais próximas, o primeiro formado pelas variedades Auxerrois, Isabel, Goethe, Gewürztraminer, Pinot Noir, Cabernet Franc e Niágara Branca e o segundo pelas variedades Riesling, Gamay, Malvasia Bianca, Jacquez, Chardonnay H, Chardonnay V, Cabernet Sauvignon H, Cabernet Sauvignon V (as letras H e V referem-se ao sistema de condução horizontal – latada e vertical – espaldeira, respectivamente). Naturalmente, esperava-se que uma mesma variedade conduzida por dois sistema de condução diferentes, como no caso de Chardonnay e Cabernet Sauvignon conduzidas pelos sistemas latada e espaldeira, apresentassem uma resposta espectral semelhante, o que foi evidenciado pelas conexões diretas observadas entre ambas. A variedade Chennin Blanc apresenta uma distância euclidiana muito maior do que o restante das variedades, conectada posteriormente aos dois grupos formados.

Outra informação derivada do gráfico apresentado na Figura 5 é a relativa separabilidade da variedade Isabel, agrupada imediatamente com apenas duas outras variedades, Auxerrois e Goethe, antes da formação dos dois grandes grupos. Como esta variedade ocupa grande parte das áreas cultivadas, é extremamente importante que técnicas de mapeamento e monitoramento sejam viabilizadas a partir de sensores remotos para esta variedade.

FIGURA 5. GRÁFICO RESULTANTE DA ANÁLISE DE GRUPAMENTOS PELA DISTÂNCIA EUCLIDIANA ENTRE A RESPOSTA ESPECTRAL DAS VARIEDADES. A LINHA PONTILHADA NO CENTRO DA FIGURA INDICA A SEPARAÇÃO DAS VARIEDADES EM DOIS GRUPOS.



5. CONCLUSÕES

A análise do comportamento espectral das variedades forneceu uma excelente noção do que se pode esperar no tangente à obtenção de informações a partir de sensores remotos que venham a subsidiar o mapeamento e o monitoramento das áreas cultivadas.

As informações obtidas sinalizam para a importância do infravermelho próximo na identificação das variedades, e também para a necessidade de expandir a faixa de obtenção de informações para outros comprimentos de onda do infravermelho, além de 1100nm.

Resultados relevantes foram obtidos, principalmente no tocante à alta separabilidade espectral de uma das variedades de maior interesse, a Isabel, comumente cultivada nas regiões vitícolas do país.

Outro ponto importante é a separação em um mesmo grupo das variedades analisadas conduzidas por diferentes sistemas de condução, já que esperava-se que não fossem encontradas grandes diferenças na resposta espectral foliar.

6. PERSPECTIVAS

É pouco provável a viabilidade de identificação de variedades a partir de sensores remotos orbitais ou aerotransportados, ainda que tenham excelente resolução espectral, já que a análise de grupamentos evidencia a baixa separabilidade entre as variedades. Com este estudo, pôde-se perceber que seria possível, em escala foliar, a separação de grupos de variedades.

Considera-se necessária a ampliação destes estudos visando analisar o comportamento destas variedades em diferentes condições ambientais e de cultivo, para validar os padrões de resposta espectral obtidos.

A geração deste tipo de informações pode subsidiar a tomada de decisão na seleção de técnicas e atividades de mapeamento e monitoramento remoto das variedades estudadas. É evidente a necessidade de continuidade de estudos expandindo-se os limites do espectro eletromagnético estudado e as escalas de análise de folha para dossel e de radiometria para sensoriamento remoto aerotransportado e orbital.

7. REFERÊNCIAS

- PROTAS, J.F.S.; CAMARGO, U.A.; MELO, L.M.R. A vitivinicultura brasileira: realidade e perspectivas. In: **1^o Simpósio Mineiro de Viticultura e Enologia**, 16 a 19 abril, Andradadas, MG. Viticultura e Enologia – Atualizando Conceitos. Andradadas: Epamig, p.17-32, 2002.
- LUCHIARI, A. Exposição oral. In: **XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento**, 05 a 10 de abril de 2003, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil.
- Cadastro Vitícola do Rio Grande do Sul – 1995/2000 – Editor técnico: Loiva Maria Ribeiro de Mello – [CD-room] Versão 1.0 – Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho/Ibravin. 2001.
- GAO, X.; HUETE, A.R.; NI, W.; MIURA, T. Optical-biophysical relationships of vegetation spectra without background contamination. **Remote Sensing of Environment**, no. 74, p. 609-620. 2000.
- YODER, B.J.; PETTIGREW-CROSBY, R.E. Predicting nitrogen and chlorophyll content and concentration from reflectance spectra (400-2500) at leaf and canopy scales. **Remote Sensing of Environment**, no. 53, p. 199-211. 1995.
- THOMAS, J.R.; GAUSMAN, H.W. Leaf reflectance vs. Leaf chlorophyll and carotenoid concentrations for eight crops. *Agronomy Journal*, vol. 69, p. 799-802. 1977.
- PALTA, J.P. Leaf chlorophyll content. **Remote Sensing Reviews**, vol.5, no. 1, p. 207-213.
- GAMON, J.A.; SURFUS, J.S. Assessing leaf pigment content and activity with a reflectometer. **New Phytologist**, no. 143, p. 105-117. 1999.
- FOURTY, T.; BARET, F.; JACQUEMOUD, S.; SCHMMUCK, G.; VERDEBOUT, J. Leaf optical properties with explicit description of its biochemical composition: direct and inverse problems. **Remote Sensing of Environment**, no. 56, p. 104-117. 1999.

MONORESTITUIÇÃO DIGITAL DE AEROFOTOS, APOIADA POR IMAGENS LASER SCANNING, APLICADA AO MAPEAMENTO DE ELEMENTOS CADASTRAIS URBANOS

Juilson José Jubanski¹
Dr. Edson A. Mitishita²

1 Universidade Federal do Paraná – juilson.jubanski@bol.com.br

2 Universidade Federal do Paraná – mitishit@geoc.ufpr.br

RESUMO

Com o avanço da tecnologia no campo da fotogrametria digital, tornam-se possíveis muitas soluções antes inviáveis. Duas dessas soluções são a MonoRestituição de aerofotos e os sistema de Laser Scanning aerotransportados. Com a mesma velocidade que as tecnologias avançam, o mercado exige, cada vez mais, que essas tecnologias sejam baratas e produtivas. Cabe ao profissional na área da fotogrametria estudar os métodos e buscar a melhor acuracidade possível, aliando as vantagens dos diversos métodos disponíveis. É nesse intuito que o presente trabalho vem a estudar um método de associação do sistema MonoRestituídor digital, com modelos de terreno gerados a partir de imagens de laser scanner; de forma a utilizar-se da alta resolução espectral das fotos aéreas em conjunto com a alta resolução altimétrica das imagens laser. Para tanto, buscou-se explorar a geometria da monorestituição, formas de se modelar o terreno sem se perder as informações originais das imagens laser, e ainda as formas mais precisas na determinação de parâmetros de orientação exterior de aerofotos. Os resultados apontam para a necessidade de se fazer uma pré-filtragem da imagem laser, separando as edificações. Com esse procedimento, os resultados alcançados estão de acordo com o esperado pelo método em relação à posição final das edificações, e acima do esperado em relação à área final das mesmas.

Palavras-chave: Fotogrametria Digital; Monorestituição Digital; Laser Scanning

ABSTRACT

With the advance of the technology in the field of the digital photogrammetry, many before impracticable solutions become possible. Two of

these solutions are MonoPlotting of aerofotos and the system of airborne Scanning Laser. With the same speed that the technologies advance, the market demands, each time more, that these technologies are cheap and productive. It fits to the professional in the area of the photogrammetry to study the methods and to search the best accuracy possible, uniting the advantages of the diverse available methods. It is in this intention that the present work comes to study a method of association of the Digital MonoPlotting system, with land models generated from laser scanner images; of form to use itself of the high spectral resolution of the aerial photos in set with the high altimetric resolution of the laser images. For in such a way, one searched to explore the geometry of the MonoPlotting, forms of land modelling without lose of the original information from the laser images, and still the most precise forms in the determination of parameters of exterior orientation of aerofotos. The results point with respect to the necessity of making pre-filtering of the laser image, separating the constructions. With this procedure, the reached results are in accordance with the waited one for the method in relation to the final position of the constructions, and above of the waited one in relation to the final area of the same ones.

Keywords: Digital Photogrametry; Digital Monoplotting; Laser Scanning

1. INTRODUÇÃO

No mapeamento cadastral de cidades vêm se experimentando os mais variados tipos de sensores remotos: desde as imagens de satélite alta resolução, até câmaras de vídeo digitais. Um sensor que vem despontando no mercado é o Laser Scanning: sistema capaz de gerar imagens com uma boa resolução altimétrica, contendo essas informações, em forma de tons de cinza. Outra tecnologia que tornou-se viável com a fotogrametria digital é a Monorestituição Digital de Aerofotos, na qual se dispensa a presença da visão tridimensional na restituição de entidades cartográficas.

No entanto, todas as tecnologias utilizadas possuem vantagens e desvantagens. No caso da estereorestituição, a precisão alcançada e o nível de detalhamento são altos, bem como o custo do levantamento e restituição. No Laser Scanning a altimetria é representada com perfeição no entanto, é baixa a resolução planimétrica e existe uma indefinição dos limites das edificações, bem como uma dificuldade de se identificar elementos qualitativamente diferentes com altitudes iguais. A Monorestituição permite um alto grau de detalhamento e custos mais baixos, no entanto, depende de uma modelagem o mais perfeita possível da superfície. Os sensores remotos têm um custo baixo, mas pecam pela

indisponibilidade de informação altimétrica, bem como pela imprecisão da localização dos objetos.

É no intuito de somar as vantagens de diferentes métodos, que surge a idéia de se utilizar a alta resolução altimétrica da imagens de LaserScanning aliada à alta resolução planimétrica do sensor fotogramétrico, através da Monorestituição Digital de Aerofotos. Para uma análise da metodologia apresentada serão utilizados dois conjuntos dados de duas épocas distintas (1997 e 2002), para a mesma região da cidade de Karlsruhe (Alemanha), com fins de comparação de resultados finais obtidos.

2. CONCEITOS FUNDAMENTAIS

2.1. O SISTEMA MONORESTITUIDOR DIGITAL

Primeiramente, vejamos como funciona o sistema que determina coordenadas por monorestituição:

Fase n° 1 – Início do Processo: Um ponto de uma entidade gráfica, obtido por digitalização vetorial monoscópica da aerofoto, tem suas coordenadas no referencial de máquina (desenho – x_i, y_i);

Fase n° 2 – Coordenadas Fotogramétricas: As coordenadas no referencial do desenho (x_i, y_i) do ponto digitalizado, são transformadas para o referencial fiducial (x_f, y_f) e posteriormente para o referencial fotogramétrico (x_p, y_p).

Fase n° 3 – Coordenadas Planas Aproximadas: As coordenadas fotogramétricas (x_p, y_p) do ponto digitalizado, são transformadas para coordenadas geodésicas locais aproximadas, com a transformação linear projetiva plana.

Fase n° 4 – Coordenada Altimétrica: Tendo-se as coordenadas geodésicas locais aproximadas, determina-se no modelo digital de superfície (DTM) a coordenada altimétrica do ponto (Z_L).

Fase n° 5 – Coordenadas Planas Exatas: Tendo-se as coordenadas fotogramétricas do ponto digitalizado (x_p, y_p) e coordenada altimétrica aproximada (Z_L), utilizando-se das equações de colinearidade inversa:

$$\begin{aligned} X &= X_0 + (Z - Z_0) \frac{m_{11}x + m_{21}y + m_{31}c}{m_{13}x + m_{23}y + m_{33}c} \\ Y &= Y_0 + (Z - Z_0) \frac{m_{12}x + m_{22}y + m_{32}c}{m_{13}x + m_{23}y + m_{33}c} \end{aligned} \quad (1)$$

Determina-se, então, as coordenadas geodésicas planas do ponto digitalizado (X_L, Y_L). Trata-se da aplicação de um modelo matemático, parametricamente correto para a transformação de coordenadas fotogramétricas (x_p, y_p) em coordenadas geodésicas locais planas (X_L, Y_L), desde que se tenham os

parâmetros de orientação exterior da aerofoto e coordenada altimétrica do ponto no referencial geodésico local, corretamente determinados nas etapas anteriores.

Fase n° 6 – Processo Iterativo: Apesar das equações de colinearidade inversa viabilizarem a correta determinação das coordenadas planimétricas, verifica-se que a determinação realizada na fase n° 5 é imprecisa, pois a coordenada altimétrica do ponto foi obtida a partir de interpolação matemática no DTM, com valores aproximados de coordenadas planimétricas determinadas na fase n° 3. Os valores de coordenadas planimétricas, determinadas na fase n° 5, são mais precisas que as determinadas na fase n° 3. Então, estas novas coordenadas planimétricas são utilizadas para o cálculo de nova coordenada altimétrica, mais precisa, no DTM. Com esta nova informação altimétrica, determina-se outra coordenada planimétrica com as equações de colinearidade inversa, que são mais precisas que as determinadas anteriormente. As fases de cálculo que determinam as coordenadas altimétricas no DTM (fase n° 4), e coordenadas planimétricas com as equações de colinearidade inversa (fase n° 5) são repetidas até que a diferença entre as coordenadas planimétricas calculadas na iteração n e na iteração $(n-1)$ seja compatível com a precisão adotada nos trabalhos.” (Adaptado de MITISHITA, 1997).

2.1. O SISTEMA LASER SCANNER

Uma forma de se calcular coordenadas de terreno é a utilização de uma medida de distância à laser associado a um referencial fotogramétrico (distância focal e referencial fiducial). Basicamente, pode-se considerar que a distância entre o CP e o ponto objeto é conhecida, bem como os parâmetros de orientação externa no momento da observação. A resolução matemática teórica é bastante simples, associando-se às equações de colinearidade uma equação de distância :

$$\begin{aligned} x &= c \frac{m_{11}(X - X_0) + m_{12}(Y - Y_0) + m_{13}(Z - Z_0)}{m_{31}(X - X_0) + m_{32}(Y - Y_0) + m_{33}(Z - Z_0)} \\ y &= c \frac{m_{21}(X - X_0) + m_{22}(Y - Y_0) + m_{23}(Z - Z_0)}{m_{31}(X - X_0) + m_{32}(Y - Y_0) + m_{33}(Z - Z_0)} \\ D &= \sqrt{(X - X_0)^2 + (Y - Y_0)^2 + (Z - Z_0)^2} \end{aligned} \quad (2)$$

Onde :

(x,y) – coordenadas ‘fotogramétricas’ do sensor ;

D – distância medida.

2.1.1. Recobramento aéreo com laser scan

O Sistema da TopoSys, fonte dos dados deste trabalho, funciona com varredura de pontos, utilizando-se para isso, 128 sensores, que variam seus ângulos de emissão de 0° a 7° para os dois lados, na direção perpendicular ao vôo. O sistema utiliza-se de emissores e sensores ligados a fibras ópticas, que tecnicamente possibilitam uma tomada “simultânea” dos 128 sensores, devido aos pequenos movimentos que o aparelho tem que fazer para emitir feixes de laser para cada fibra interiormente. Outra vantagem é a possibilidade de gerar dois sistemas ópticos idênticos para o envio e recepção do sinal.

No entanto, o LaserScanner somente determina a distância entre o sensor e a superfície. A posição 3D dos pontos só pode ser calculada se a posição e orientação do sistema de laser scanning for conhecida no devido sistema de coordenadas geodésicas (ver equação 2). Portanto, para a obtenção de medidas acuradas no referencial geodésico, o sistema de laser scanning deve ser apoiado por um POS (Position and Orientation System). Como a precisão da medida da distância a laser é melhor do que 10cm, deve o POS possuir uma precisão compatível, e esta pode ser obtida quando integrados um sistema DGPS com um sistema inercial, para a determinação das três rotações eulerianas (ver BALTSAVIAS,1999).

2.1.2. Processamento

Após o aerolevantamento, existem dois conjuntos de dados disponíveis: os dados de POS e as medidas de distância, juntamente com seus ângulos de tomada. Assumindo-se uma precisão melhor do que 10cm em posição e melhor do que $0,02^\circ$ em orientação, pontos em coordenadas geodésicas podem ser calculados com alta precisão. Alguns parâmetros de calibração do sistema também devem ser levados em conta, mas as pesquisas nesse sentido ainda estão em andamento, e ainda não se sabe qual a melhor maneira de parametrização. De um modo geral, dados esses três conjuntos de dados, primeiramente são calculadas as coordenadas no referencial geodésico, depois essas coordenadas são transformadas para a devida projeção cartográfica, e então a imagem final é gerada por interpolação e filtragem dos dados. No entanto, como em qualquer levantamento fotogramétrico ou geodésico, existem erros inerentes ao sistema, e esses erros devem ser corrigidos num ajustamento entre as faixas de vôo.

Os métodos de redução ou eliminação desses erros utilizam-se da redundância de dados, no caso do sistema da TopoSys, da sobreposição existente entre as faixas de vôo. Essas técnicas são bastante similares às técnicas de aerotriangulação fotogramétrica, pois utilizam-se de modelagem de erros (mínimos quadrados) e de ajustamento entre parâmetros e observações. O sucesso do ajustamento depende

diretamente da capacidade do modelo matemático em parametrizar os erros existentes nos dados.

3. METODOLOGIA UTILIZADA

3.1. ORIENTAÇÃO EXTERIOR DAS AEROFOTOS

3.1.1. Determinação dos Pontos de Apoio

Para a orientação exterior das aerofotos, foram utilizadas as coordenadas geodésicas da imagem laser como fonte de pontos de apoio, já que não foi possível um levantamento em campo. Esses pontos de apoio utilizados para as orientações externas são pontos que possam ser bem identificados tanto na imagem laser quanto na aerofoto. No entanto, pontos que estão nos cantos das edificações não são confiáveis quando lidos da imagem laser, e pontos que estão no chão simplesmente não aparecem nas imagens laser. Por isso foram escolhidos sempre pontos que estivessem sobre as edificações (como o centro das mesmas, ou telhados bem definidos).

Quando um “bom” ponto é localizado, é feita uma marcação, em ambas as imagens, já que o sistema CAD (MicroStation) permite esse tipo de operação, e ainda é feita uma numeração em conjunto com a marcação.

3.1.2. Procedimento de orientação exterior para a Época 1997

A aerofoto de 1997 foi orientada com a técnica de Resseção Espacial (ver LUGANANI,1987) . Esse procedimento matemático é realizado internamente pelo programa MonoRestituídor. Para tanto, basta realizar a leitura das marcas fiduciais (com câmara e projeto devidamente cadastrados dentro do programa), processar a orientação interna, fazer a orientação externa aproximada (transformação projetiva no plano), e por fim processar a resseção espacial, a qual dentro do programa vem explicitada como “orientação exata”.

Esse método obteve resultados aceitáveis, e esses foram aplicados nos processamentos dos arquivos vetoriais digitalizados para a época 1997.

FIGURA 1 - VISUALIZAÇÃO DA IMAGEM LASER



3.1.3. Procedimento de orientação exterior para a Época 2001/2002

Utilizando-se dos dados coletados a partir das aerofotos e da imagem laser, optou-se por um ajustamento simultâneo de aerofotos, ao invés da simples resseção espacial utilizando-se dos dados dos pontos de apoio. Para tanto, foi realizada a leitura monocular digital de 42 pontos fotoidentificáveis, em duas ou três fotografias aéreas subseqüentes da faixa do vôo utilizado, e o processamento se deu pelo ajustamento do pequeno bloco formado. Esse tratamento matemático, mais complexo, é realizado visando-se um aumento no grau de liberdade do ajustamento, bem como a melhoria da geometria na determinação dos parâmetros de orientação externa da aerofoto “central”, aquela que foi digitalizada. Para tanto, foram realizados uma série de programas em MatLab com a finalidade de tornar o procedimento proposto viável.

3.2 GERAÇÃO DOS MODELOS DIGITAIS DE TERRENO

3.2.1. As problemáticas da não convergência do sistema

Teoricamente, uma imagem raster laser, transformada em arquivo texto, é uma malha regular de pontos, que pode ser utilizada como se fosse um DTM. No entanto, quando da aplicação direta desse arquivo na restituição do arquivo digitalizado, o sistema simplesmente não funcionou, pois os pontos referentes às edificações não convergiram, conforme o previsto no item (2.1). Chegou-se à conclusão de que o interpolador interno da versão do Sistema MonoRestituído utilizada, não está preparado para dados que contenham descontinuidades, o que impede a convergência do sistema. Além do mais, existe uma restrição quanto ao montante de DTM que o sistema utiliza para a determinação planimétrica dos pontos.

O interpolador interno do Sistema MonoRestituído considera, dadas as coordenadas planas calculadas pelas equações de colinearidade inversa, os três pontos amostrais mais próximos para se fazer a interpolação da cota a ser utilizada na próxima iteração (ver item 2.1). Como existem grandes desníveis entre os pontos amostrais, esse tipo de interpolador gera como resultados cotas muito diferentes das reais, o que impede a continuação do processo iterativo. Esse problema está sendo solucionado com a implementação do interpolador vizinho mais próximo como forma de interpolador local.

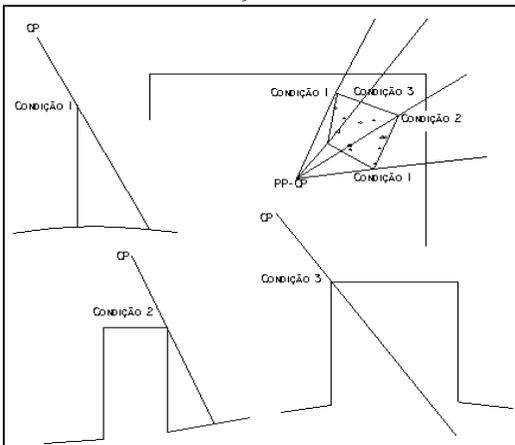
O segundo problema consiste do seguinte: considerados todos os “pontos imagem” de uma aerofoto, se ligados ao centro de projeção, têm-se uma espécie de cone, limitado apenas pelo quadro do negativo. Cada ponto imagem possui, teoricamente, um ponto objeto no solo, e o “cone da imagem” se estenderá até a superfície física. O parâmetro definidor do “cone da imagem”, é o eixo do cone, que

no caso de uma aerofoto no espaço é uma reta que passa pelo CP e que possui três orientações (seriam três “azimutes”, numa analogia à topografia clássica) no espaço – justamente os ângulos (κ , ϕ e ω). Dessa forma, o eixo do “cone da imagem” e um ponto imagem qualquer, formarão, por definição geométrica, um plano. O raio de luz nada mais é do que a reta que contém o ponto imagem, o ponto objeto e o CP. Se dois pontos de uma reta estão em um plano (no caso – o ponto imagem e o CP estão no mesmo plano), logo, todos os infinitos pontos da reta estarão nesse plano, inclusive (e especialmente) o ponto objeto. Dessa forma, todo o processo de monorestituição acontecerá nesse plano, que aqui será chamado de plano de monorestituição, já que o sistema procura o ponto objeto utilizando-se da “estrutura” do “cone de imagem”, que por sua vez é matematicamente definido pelos parâmetros de orientação externos da aerofoto. Ou seja: apenas um perfil muito específico do DTM – a intercessão entre o plano de monorestituição e o DTM - será utilizado durante o processo, e não todo o DTM. Geometricamente, o eixo do cone da imagem gera infinitos planos de restituição que contém este eixo. Por definição, o ponto no qual esse eixo cruza o plano do negativo é o ponto principal da fotografia, ou seja, o eixo do cone da imagem nada mais é do que o eixo z do referencial fotogramétrico transformado para o referencial geodésico local. Assim sendo, a intercessão entre os infinitos planos de monorestituição e o plano do negativo gera

infinitas retas que convergem no ponto principal. Dessa forma, os pontos imagem pertencerão a retas radiais ao ponto principal, bem como a seu plano de restituição. Da mesma maneira, ao nível do terreno, haverá infinitos perfis, no DTM, que convergem em uma única reta: o eixo z do referencial fotogramétrico transformado para o sistema geodésico local.

Na prática, observou-se que alguns cantos das edificações eram corretamente retificados, e outros não o eram. Existem 3 condições geométricas básicas identificadas para a

FIGURA 2 - CONDIÇÕES DE CONVERGÊNCIA



monorestituição de um ponto de uma edificação, conforme a figura (2). Nela está representada uma vista de topo com a área da foto (com as radiais citadas acima), e os raios de luz, bem como as vistas de perfil das três condições geométricas existentes.

Na condição 1, o sistema não encontrará o ponto objeto pois, a posição inicial calculada pela transformação projetiva será próxima à intercessão entre o raio de luz e o DTM, e a posição final encontrada, será próxima à esse local, e não sobre o edifício. Na condição 2, ocorrerá o mesmo problema do que na condição 1, apesar de o edifício não ser mais somente um único canto da edificação. Na condição 3, pode haver convergência ou não. Se a extensão do raio de luz não atravessar duas vezes as paredes da edificação, o ponto convergirá. Caso contrário haverá indefinição de qual é o ponto objeto e o sistema não convergirá.

É notável que a grande razão para a não-convergência dos pontos, é a existência de dois ou mais pontos no DTM para cada raio de luz. Isso ocorre devido à grande diferença de altura entre pontos muito próximos no mesmo modelo de terreno (aliado às limitações dos planos de monorestituição), pois a resolução planimétrica do DTM é de 1m (tamanho do pixel), e as diferenças de altura encontradas de um pixel para outro variam entre 20m e 80m para as edificações que se desejam retificar.

3.2.2. Filtragem dos dados, modelagem e interpolação

O modelo digital de terreno deve simular da melhor maneira possível a superfície estudada, e, de acordo com o item anterior, a superfície que melhor representa as edificações de uma imagem laser, quando se tratando do sistema MonoRestituído, é uma superfície que não contenha grandes desníveis entre dois pontos subseqüentes da grade regular. Ao mesmo tempo, os dados dos topos das edificações não devem ser alterados durante o processo de modelagem, pois o trabalho se propõe a utilizar os dados advindos diretamente das imagens laser para a determinação planimétrica de pontos, com uma precisão melhor do que a própria imagem laser oferece.

O primeiro passo da modelagem é a seleção dos dados “úteis”. Pontos com nível de cinza nulos e pontos com altitudes muito acima da média devem ser eliminados. Para a separação das edificações dos demais pontos, optou-se por uma simples: observa-se qual é a edificação mais baixa da área, e elimina-se todos os pontos com cota inferior a esse limite mínimo. Para os pontos ao nível da superfície, sendo Karlsruhe bastante plana, basta se fazer uma seleção dos pontos que estão próximos à altitude média das áreas retificadas, valor que gira em torno de 115m.

Nesse ponto se faz necessário o preenchimento das áreas sem dados, com pontos que permitam a convergência do sistema, e ainda que, após esse preenchimento, os dados originais das edificações permaneçam intactos. Para tanto, optou-se por uma triangulação de Delunay como forma de se ligar os pontos amostrais, e uma interpolação linear dentro dos triângulos formados. Para que os dados originais fossem mantidos após a interpolação, definiu-se uma grade com resolução planimétrica de 1m por 1m com limites coincidindo exatamente com os da

filtragem inicial. Dessa forma, quando o ponto a ser interpolado estiver nos “vazios de dados”, haverá uma interpolação. Quando o ponto estiver dentro de uma edificação, este ponto a ser interpolado coincidirá exatamente com um ponto pré existente, e sendo a interpolação linear, o resultado será a própria cota do ponto. Esse procedimento matemático corresponde à tentativa de se fazer uma linha reta entre os limites das edificações para se preencher o espaço vazio criado.

4. ANÁLISE GEOMÉTRICA DAS EDIFICAÇÕES RETIFICADAS

4.1. POSIÇÃO DAS EDIFICAÇÕES

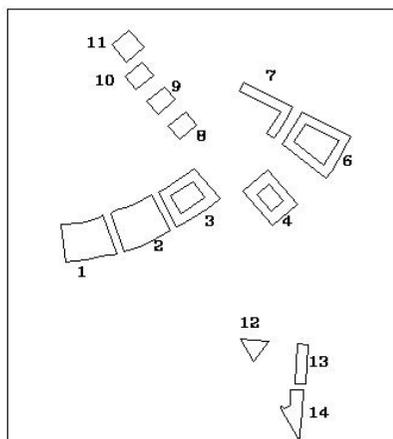
Deseja-se saber até que ponto a posição restituída coincide com a posição da mesma edificação na imagem laser (supostamente real). Teoricamente, as posições devem ser as mesmas. O parâmetro escolhido para a comparação dessa posição foi o centróide ou centro de gravidade, pois ele é único para cada edificação, independente do número de pontos digitalizados, pois não se pode garantir, quando se digitaliza um arco, que todos os pontos digitalizados são absolutamente os mesmos quando se trata de épocas distintas. O procedimento consiste na digitalização das edificações diretamente a partir da imagem laser; e a comparação entre os centróides das edificações retificadas (CAD), e os centróides das edificações digitalizadas (LASER). As edificações escolhidas para a análise são as que têm uma melhor definição na imagem laser, pois o centróide das edificações das imagens laser foi obtido a partir da digitalização vetorial das mesmas.

A figura (3) mostra a identificação e posição das edificações escolhidas. O primeiro cálculo a ser realizado é a diferença entre as imagens laser e arquivos restituídos, para as duas épocas, separadamente:

TABELA 1 – DIFERENÇA NA POSIÇÃO DO CENTRÓIDE ENTRE LASER E CAD

	ÉPOCA 1997			ÉPOCA 2001/2002		
	Δ_x	Δ_y	Δ_{xy}	Δ_x	Δ_y	Δ_{xy}
Média	0.192	0.548	0.714	0.053	-0.138	0.375

FIGURA 3 – EDIFICAÇÕES ANALISADAS



O que se nota é que, para cada época separadamente, as diferenças entre os centróides são, em média, menores do que 1 pixel na imagem laser, ou seja no aspecto coincidência entre o laser

e o arquivo restituído, o processo obteve sucesso.

A próxima etapa é verificar as diferenças entre as épocas e procurar as fontes de erro. Aqui pode-se procurar qual a influência dos erros inerentes ao sistema laser (diferenças dos centróides das edificações obtidas da digitalização direta da imagem laser), e qual a influência dos erros do sistema MonoRestituído (orientações e interpolação altimétrica). No entanto, as diferenças verificadas entre os arquivos monorestituídos contém, também, os erros inerentes ao sistema laser. Portanto, deve-se descontar a diferença obtidas entre as imagens laser da diferença entre as edificações restituídas para que essa medida possa ser realizada:

TABELA 2 - DIFERENÇA NA POSIÇÃO DO CENTRÓIDE ENTRE AS ÉPOCAS

	<i>Diferença entre os arquivos vetoriais monorestituídos (Δ_{CAD})</i>			<i>Diferença entre os arquivos vetoriais digitalizados (Δ_{LASER})</i>			<i>Diferença Residual ($\Delta_{CAD} - \Delta_{LASER}$)</i>		
	Δ_x	Δ_y	Δ_{xy}	Δ_x	Δ_y	Δ_{xy}	ϵ_x	ϵ_y	ϵ_{xy}
MÉDIA	0.406	2.344	2.462	0.726	1.484	1.817	-0.056	0.774	1.050

sistemática. A conclusão que se pode tirar, é que existe um erro em Y, no sistema laser, que está sendo distribuído durante os vários processos da monorestituição; tanto na determinação dos parâmetros de orientação externos (independente do método utilizado), quanto na modelagem numérica de terreno. Essa afirmação é válida pois o apoio da orientação externa das aerofotos advém das imagens laser. Parte desse erro é distribuído, mas uma boa parcela pode ser notada na grande diferença entre as diferenças residuais em X e Y, pois o erro médio em Y é cerca de 14 vezes maior do que o erro em X. Em números absolutos, pode-se dizer que há um deslocamento médio de cerca de 1m (1 pixel na imagem laser), no eixo Y, entre as imagens laser. Portanto, pode-se dizer que os resultados foram satisfatórios no que se trata da posição absoluta dos elementos monorestituídos.

4.2 ÁREA DAS EDIFICAÇÕES

Uma grande desvantagem na utilização de uma imagem laser na obtenção de edificações, é a baixa resolução planimétrica (não se pode identificar com clareza uma edificação), bem como a diferença existente devida à questão do first pulse mostrar uma edificação maior do que ela realmente é, e do last pulse mostrar uma edificação menor do que ela realmente é. Numa carta cadastral, procura-se a melhor precisão possível em termos de posição e área. A questão da posição já foi tratada acima, e as questões referentes à baixa resolução da imagem laser, o problema da diferença entre first e last pulse são objeto de estudo desse trabalho, pois tenta-se utilizar da alta resolução planimétrica de aerofotos na identificação dos prédios, para a sua restituição de uma maneira o mais exata possível em termos planimétricos, utilizando-se da alta resolução altimétrica de uma imagem laser.

Para se fazer uma análise, utilizou-se das áreas dos objetos restituídos, bem como da área dos edifícios digitalizados diretamente. Para as mesmas edificações do item anterior, temos os seguintes resultados:

TABELA 3 - DIFERENÇAS DE ÁREAS

	<i>Diferença entre CAD e LASER 2002 (%)</i>	<i>Diferença entre CAD e LASER 1997 (%)</i>	<i>Diferença entre LASER (%)</i>	<i>Diferença entre CAD (%)</i>
MÉDIA	-21.1	-10.8	9.1	1.1

Os resultados acima mostram que, independente da grande diferença de área entre o arquivo restituído (CAD) e o arquivo digitalizado (LASER), a diferença de áreas entre os arquivos restituídos é muito menor do que as demais diferenças. Isso nos mostra que, independente da imagem laser utilizada, ou da época de levantamento, ou dos erros inerentes a ambos os sistemas, sistema MonoRestituído consegue encontrar a posição “real” do limite da edificação, dentro da imagem laser. Isso significa que é possível se utilizar do sistema em trabalhos fotogramétricos tradicionais, como forma de contornar o problema das imagens first e last pulse, bem como aproveitar a boa resolução altimétrica do laser, aliando-a à boa resolução espectral de uma aerofoto. Nesse ponto os resultados foram realmente muito bons, mostrando que os problemas com orientação externa podem ser contornados com a utilização de pontos de apoio de terreno (o que foi infelizmente impossível no presente trabalho), ou aerotriangulações clássicas, o que melhoraria a condição geométrica para a convergência precisa dentro do sistema MonoRestituído. Também deve-se ressaltar a necessidade de um bom processamento das imagens laser, para evitar erros de posição como os verificados nas posições dos centróides das edificações restituídas.

5. CONCLUSÕES

- a) A alta resolução das aerofotos utilizadas consegue compensar a baixa resolução da imagem laser, e a altimetria da imagem laser supre as necessidades para uma monorestituição precisa;
- b) A precisão e possibilidade na determinação dos pontos restituídos depende da geometria da monorestituição, que por sua vez é dependente de como a modelagem de terreno é realizada, já que existe uma grande quantidade de pontos de controle;
- c) É possível a determinação de elementos com grandes desníveis (como edificações), desde que utilizados modelos digitais de terreno contínuos que permitam a convergência do sistema;
- d) Com a considerável melhora na modelagem de terreno, a monorestituição digital de aerofotos pode vir a ser aplicada num número bastante grande de mapeamentos digitais, desde que em concordância com as necessidades do usuário.

e) Existe uma grande dificuldade da determinação dos parâmetros externos da câmara aérea se forem utilizados pontos de apoio advindos somente das imagens laser. A precisão dessa determinação irá influenciar todo o procedimento, portanto os dados devem ser preferencialmente coletados em campo e processados da maneira mais exata possível. Para essa etapa do trabalho devem ser implementados métodos que garantam a efetiva integração entre o sistema laser e a câmara fotogramétrica.

f) O procedimento de ajustamento em bloco na determinação dos parâmetros externos da aerofoto a ser monorestituída, mostrou-se bastante adequado na melhora da geometria da determinação dos parâmetros de orientação externa;

g) Houve a dificuldade de se digitalizar elementos “escondidos” pelas edificações, o que piora a qualidade do produto final, mas que pode ser contornado com uma melhor escolha de aerofotos e a utilização de mais de uma aerofoto;

h) Outra dificuldade foi o problema com a influência das árvores sobre as edificações, que causou indeterminações em alguns pontos retificados;

i) As coordenadas das edificações obtidas estão de acordo com a realidade, e as diferenças obtidas entre as épocas estão dentro dos erros aceitáveis dadas às circunstâncias não ideais da orientação exterior das aerofotos;

j) As áreas obtidas mostram que a indeterminação das mesmas, nas imagens laser, são praticamente eliminadas quando da utilização de um sensor espectral (no caso uma aerofoto), em conjunto com as mesmas;

6. REFERÊNCIAS

- 1 BÄHR, H.-P.; CENTENO, J.; COELHO, A.; v. HANSEN, W.; KIEMA, J.; LOHR, U.; STEINLE, E.; VÖGTLE, T. **Aerolevantamento com Laser Scanning Resultados da Cooperação TopoSys e Universidade de Karlsruhe/Alemanha**. Porto Alegre, 2001. XX Congresso Brasileiro de Cartografia.
- 2 BALTSAVIAS, E. P. **Airborne laser scanning: basic relations and formulas**. 1999. Journal of Photogrammetry & Remote Sensing.
- 3 BEHAN A.; MAAS H-G.; VOSSLMANN, G. **Steps towards Quality Improvement of Airborne Laser Scanner Data**. Amsterdam, 2000. Proceedings of the 26th Annual Conference of the Remote Sensing Society
- 4 BRIESE, C.; KRAUS, K.; MANDLBURGER G.; PFEIFER N. **Einsatzmöglichkeiten der flugzeuggetragenen Laser-Scanner** Innsbruck, 2001. Tagungsband der 11. Internationalen Geodätischen Woche in Obergurgl

- 5 GEMAEL, C. **Introdução ao Ajustamento de Observações**. Curitiba, 1994. Universidade Federal do Paraná.
- 6 KRAUS, Karl. **Principles of airborne laser scanning**. Wien, 1998. Institute of Photogrammetry and Remote Sensing, Technical University of Vienna.
- 7 LUGANANI, J. B. **Introdução à Fototriangulação**. Curitiba, 1987. Universidade Federal do Paraná.
- 8 MITISHITA, E. A. **Monorestituição Digital de Aerofotos, Associada com Sistema de Computação Gráfica C.A.D., para Fins de Mapeamento na Área Florestal**. Curitiba, 1997. Universidade Federal do Paraná.
- 9 ROSIER, François A. **Aerotriangulação Semi-Analítica: Ajustamento Simultâneo com Injunções Posicionais**. Curitiba, 1983. Universidade federal do Paraná.
- 10 WEHR, A.; LOHR U. **Airborne laser scanning – na introduction and overview**. 1999. Journal of Photogrammetry & Remote Sensing.
- 11 WEVER, C.; LINDENBERGER, J. **Experiences of 10 yaers laser scanning**. Stuttgart, 1999. Universität Stuttgart.

7. AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer, às pessoas que me ajudaram muito e sem exitar na Alemanha: Eberhard Steinle e Alexandre Hering Coelho, que tornaram viável a minha estadia, bem como colaboraram com idéias, sugestões e paciência. Agradeço também aos professores H.-P. Bähr e Thomas Vögtle pela disponibilização dos dados bem como pelas boas condições de trabalho ofertadas.

Agradeço à prof. Cláudia Krueger e Luis Veiga pela orientação e organização do projeto UNIBRAL.

Agradeço aos meus colegas de viagem: Ana Lúcia Gonçalves, Murício Sejas, Marcio Urakawa e Marcio Schmidt pelo companheirismo e paciência.

Agardeço de forma especial ao prof. Edson Mitishita pela colaboração em forma de incentivo, orientação, idéias, software, enfim, por ter colaborado de todas as maneiras possíveis.

E, por fim, à minha família pelo incentivo à distância, e pelo infinito amor a mim dedicado.

MÉTODO PARA CLASSIFICAÇÃO DE IMAGENS BASEADA EM MATRIZES DE CO-OCORRÊNCIA UTILIZANDO CARACTERÍSTICAS DE TEXTURA

William Robson Schwartz¹
Hélio Pedrini²

1 Universidade Federal do Paraná – william@pet.inf.ufpr.br

2 Universidade Federal do Paraná – helio@inf.ufpr.br

RESUMO

Os métodos de classificação de imagens baseados em características texturais têm sido amplamente utilizados no meio científico e industrial, possuindo aplicações na medicina, microscopia, sensoriamento remoto, controle de qualidade, recuperação de dados em bases gráficas, dentre outras. A característica de textura é uma fonte importante de informações para o processo de análise e interpretação de imagens. Neste trabalho, a textura é definida através de um conjunto de medidas estatísticas descrevendo as variações espaciais de intensidade ou cor. Tais medidas são calculadas utilizando-se matrizes de co-ocorrência. O método de classificação não possui a etapa de treinamento, requerendo pouca intervenção do usuário. Resultados experimentais obtidos a partir de imagens reais demonstram a aplicabilidade do método.

Palavras-chave: Classificação de imagens; Textura; Matriz de Co-ocorrência.

ABSTRACT

Image classification methods based on textural characteristics have been greatly used in scientific and industrial area, with applications in medicine, microscopy, remote sensing, control of quality, retrieval of information in graphic databases, among others. The characteristic of texture is an important source of information for the process of image analysis and interpretation. In this work, texture is described in terms of statistical features indicating the spatial distribution of intensity or color. Such features are calculated using co-occurrence matrices. The classification method does not have a training stage, requiring little user intervention.

Experimental results obtained from real images have demonstrated the applicability of the proposed method.

Keywords: Image Classification; Texture; Co-occurrence Matrix.

1. INTRODUÇÃO

Análise de imagens é uma das principais tarefas envolvidas em um sistema de classificação. Seu objetivo é obter informações suficientes para distinguir entre diferentes regiões de interesse. Normalmente, o processo de classificação é baseado nos níveis de cinza ou cores, características de forma e textura. Diversas aplicações utilizam técnicas de classificação para reconhecimento de objetos em imagens, tais como análise de imagens multiespectrais e interpretação de fotografias aéreas.

Textura é uma das características mais importantes para classificação e reconhecimento, e pode ser caracterizada por variações locais dos valores de pixels que se repetem de maneira regular ou aleatória ao longo do objeto ou imagem. Textura pode também ser definida como um arranjo repetitivo de padrões sobre uma área, com o objetivo de medir a sua aspereza, observando fatores como as dependências de níveis de cinza, auto-correlação, entre outros. Vários métodos para classificação de imagens utilizando características de textura têm sido propostos na literatura. Entretanto, não há um método genérico ou uma abordagem formal que seja útil para uma grande variedade de imagens.

O processo de classificação de textura, em geral, envolve duas fases, a etapa de treinamento e a etapa de reconhecimento. Na fase de treinamento, o objetivo é construir um modelo para o conteúdo de textura de cada classe presente nos dados de treinamento, o qual normalmente é realizado através de rótulos de classes conhecidas. Na fase de reconhecimento, o conteúdo de textura das amostras desconhecidas é primeiro descrito através do método de análise utilizado na etapa de treinamento. Desse modo, as características de textura das amostras são comparadas com aquelas das imagens de treinamento e a amostra é atribuída àquela categoria que apresenta maior similaridade.

Este trabalho descreve um método para classificação de imagens através da análise de textura utilizando matrizes de co-ocorrência, porém, sem a etapa de treinamento. A matriz de co-ocorrência é uma tabulação de quantas combinações diferentes de valores de intensidade dos pixels (níveis de cinza) ocorrem em uma imagem. Com o objetivo de utilizar a informação contida nas matrizes de co-ocorrência de níveis de cinza, foram utilizados treze descritores estatísticos para medir características texturais.

O objetivo do classificador proposto é, a partir de um número N de classes presentes em uma imagem, determinar as regiões pertencentes a cada classe.

Regiões da imagem são amostradas de forma a permitir que seus pixels possam pertencer simultaneamente a múltiplas regiões, melhorando assim a determinação da classe ao qual cada pixel pertence. Para cada região, um vetor de características é determinado através do cálculo dos descritores estatísticos sobre a matriz de co-ocorrência, com dependência espacial em 0, 45, 90 e 135 graus.

Este trabalho está organizado como segue. A seção 2 trata das texturas. A seção 3 descreve os principais conceitos relacionados às matrizes de co-ocorrência. Na seção 4, é descrito o método desenvolvido. Resultados experimentais obtidos são mostrados na seção 5. Finalmente, a seção 6 descreve as conclusões obtidas com este trabalho.

2. TEXTURA

Textura é uma das características mais importantes para classificar e reconhecer objetos e cenas, e pode ser caracterizada por variações locais em valores de pixels que se repetem de maneira regular ou aleatória ao longo do objeto ou imagem. Vários métodos para classificação de imagens utilizando características de textura têm sido propostos na literatura: (Ayala & Domingo, 2001), (Ivarinen & Visa, 1998), (Liew *et al.*, 1995), (Marceau *et al.*, 1990), (Mudigonda *et al.*, 2000), (Pierce *et al.*, 1998), (Schowengerdt, 2000), (Shaban & Dikshit, 1998), (Schistad & Jain, 1995). Entretanto, não há um método genérico ou uma abordagem formal que seja útil para uma grande variedade de imagens (Aksoy, 1998).

Haralick *et al.* (Haralick, 1973) definiram textura como uniformidade, densidade, aspereza, regularidade, intensidade, entre outras características da imagem. No trabalho citado, os autores caracterizam textura como um conceito bidimensional, onde uma dimensão contém as propriedades primitivas da tonalidade e a outra corresponde aos relacionamentos espaciais entre elas. Eles indicaram que os conceitos de tonalidade e textura não são independentes, tal que em algumas imagens a tonalidade é dominante e, em outras, a textura é dominante.

As três abordagens principais usadas em classificação de imagens para a descrição de texturas são a estatística, a estrutural e a espectral, conforme descritas a seguir:

- *Abordagens Estatísticas*: a textura é definida por um conjunto de medidas locais extraídas do padrão. Medidas estatísticas comuns incluem entropia, correlação, contraste e variância;
- *Abordagens Estruturais*: utilizam a idéia de que texturas são compostas de primitivas dispostas de forma aproximadamente regular e repetitiva, de acordo com regras bem definidas. Como exemplo, pode-se citar a descrição da textura baseada em linhas paralelas regularmente espaçadas;
- *Abordagens Espectrais*: baseiam-se em propriedades do espectro de Fourier, sendo principalmente utilizadas na detecção de periodicidade

global em uma imagem através da identificação de picos de alta energia no espectro.

Outros trabalhos que definem texturas de modo semelhante foram desenvolvidos. Um deles, como aponta (Aksoy, 1998), é o de Rosenfeld e Troy, que também define textura como um arranjo repetitivo de padrões sobre uma área e tenta medir a aspereza da textura observando fatores como as dependências de níveis de cinza, auto-correlação, etc.

A quantificação do conteúdo de textura é uma abordagem importante para a descrição de regiões (Gonzalez & Woods, 2000). Esses padrões homogêneos ou arranjos espaciais de pixels não podem ser descritos somente por intensidades locais ou cores.

3. MATRIZ DE CO-OCORRÊNCIA DE NÍVEIS DE CINZA

A primitiva mais simples que pode ser definida em uma imagem digital em níveis de cinza é um pixel, que tem como propriedade seu nível de cinza. Conseqüentemente, a distribuição dos níveis de cinza dos pixels pode ser descrita por estatísticas de primeira ordem, como média, variância, desvio padrão, inclinação *skewness* ou estatísticas de segunda ordem como a probabilidade de dois pixels terem um determinado nível de cinza ocorrendo com um relacionamento espacial particular. Essa informação pode ser resumida em matriz de co-ocorrência bidimensionais, calculadas para diferentes distâncias e orientações.

A matriz de co-ocorrência é uma tabulação de quantas combinações diferentes de valores de intensidade dos pixels (níveis de cinza) ocorrem em uma imagem. A idéia principal da matriz de co-ocorrência é descrever textura através de um conjunto de características para as ocorrências de cada nível de cinza nos pixels da imagem considerando múltiplas direções.

A matriz de co-ocorrência de textura considera a relação entre dois pixels por vez, um chamado de pixel referência e o outro de pixel vizinho. O pixel vizinho escolhido pode, por exemplo, estar a leste (direita) de cada pixel referência. Isto pode ser expresso como uma relação $(1,0)$: 1 pixel na direção x , 0 pixels na direção y . Cada pixel dentro da imagem torna-se o pixel referência, iniciando no canto superior esquerdo e procedendo até o inferior direito. Os pixels situados na margem direita não têm vizinhos da direita, então eles não são utilizados para esta contagem.

Co-ocorrência, na sua forma geral, pode ser especificada por uma matriz de frequências relativas $P(i, j; d, \theta)$, na qual dois elementos de textura vizinhos, separados por uma distância d em uma orientação θ ocorrem na imagem, um com propriedade i e o outro com propriedade j .

Instanciando essa definição para co-ocorrência de níveis de cinza, os elementos de textura são pixels e as propriedades são os níveis de cinza. Por exemplo, para um

relacionamento com um ângulo $\theta = 0^\circ$, $P(i, j; d, \theta)$ é a média aritmética da probabilidade de uma transição, da esquerda para a direita, do nível de cinza i para o nível de cinza j , com uma distância d . Essas matrizes podem ser normalizadas através da divisão de cada entrada da matriz pelo número de pixels vizinhos usados para calcular aquela matriz (Aksoy, 1998).

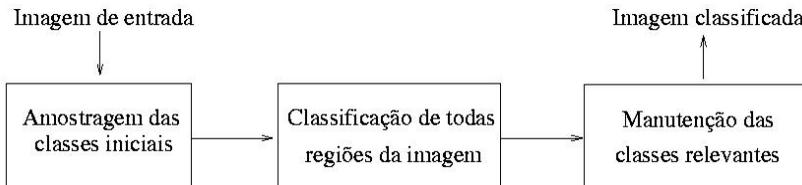
4. MÉTODO DESENVOLVIDO

O classificador desenvolvido baseia-se no cálculo da distância Euclidiana entre os vetores de características de uma região e de cada classe presente na imagem, para determinar à qual classe pertence cada região. Os componentes do vetor de características são obtidos através do cálculo das medidas estatísticas para medir características texturais (Haralick *et al.*, 1973): segundo momento angular, energia, contraste, correlação, homogeneidade, soma da média, variância, soma da variância, diferença da variância, entropia, soma da entropia, diferença da entropia, informação de medidas de correlação.

Como o classificador não apresenta a fase de treinamento, as classes a serem encontradas são amostradas a partir da imagem em que está sendo realizada a classificação. São consideradas como classes relevantes, aquelas que possuem maior área, ou seja, as classes que apresentam maior número de ocorrências na imagem.

Três fases são definidas para a identificação das classes relevantes presentes nas imagens de entrada, dentre elas, a amostragem das classes iniciais, a determinação de cada região da imagem para uma das classes iniciais e a manutenção apenas das classes mais representativas da imagem. O número N de classes mais representativas é definido pelo usuário no início da execução. A figura 01 mostra um diagrama com as fases necessárias para a identificação das classes.

FIGURA 01 - DIAGRAMA MOSTRANDO AS FASES NECESSÁRIAS PARA CLASSIFICAÇÃO DAS CLASSES PRESENTES NA IMAGEM.



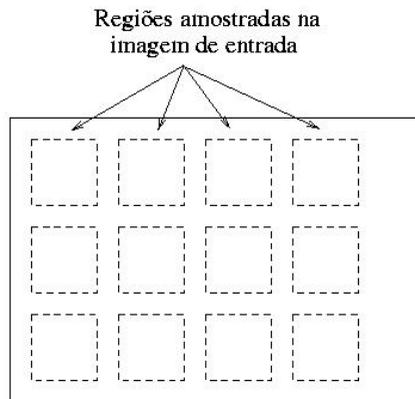
4.1 AMOSTRAGEM DAS CLASSES INICIAIS

Com a ausência da fase de treinamento, torna-se necessária a criação das possíveis classes de padrões representativos da imagem.

Em intervalos regulares, são amostradas regiões da imagem, definidas como classes iniciais. Todas as amostras são quadradas e possuem o mesmo tamanho, definido pelo usuário, de maneira que cada uma possa representar as texturas contidas na imagem de entrada. Para cada uma dessas amostras são calculadas as medidas estatísticas utilizando-se a matriz de co-ocorrência, que compõem o vetor de características.

Como o método considera que as classes mais representativas na imagem são aquelas que possuem as maiores áreas, a amostra de classes iniciais conterá regiões com classes relevantes. A figura 02 ilustra a obtenção das classes iniciais através da amostragem de regiões na imagem de entrada.

FIGURA 02 – AMOSTRAGEM DAS CLASSES INICIAIS NA IMAGEM DE ENTRADA. CADA QUADRADO REPRESENTA UMA CLASSE QUE SERÁ BUSCADA NA IMAGEM.

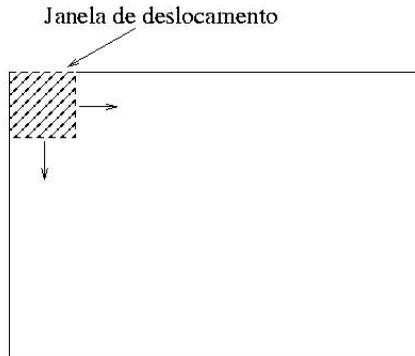


4.2 CLASSIFICAÇÃO DE TODAS AS REGIÕES DA IMAGEM

Após a determinação das classes iniciais, são amostradas todas as regiões da imagem, para posterior classificação.

As regiões amostradas possuem o mesmo tamanho que as classes iniciais, e a sua obtenção é realizada pelo deslocamento de uma *janela* sobre a imagem, possibilitando assim sua sobreposição entre duas regiões distintas. A figura 03 ilustra a amostragem de toda a imagem, com o deslocamento da janela.

FIGURA 03 – AMOSTRAGEM DA IMAGEM, DADA ATRAVÉS DO DESLOCAMENTO DA JANELA.



A sobreposição entre regiões é permitida, pois ao final da execução do algoritmo, a determinação da classe à qual cada pixel irá pertencer será realizada através da frequência deste em relação à cada classe relevante. Com isso, obtém-se um resultado mais preciso e o problema de uma amostra ficar entre duas classes é reduzido (Gose *et al.*, 1996).

Para cada região amostrada, são calculados seu vetor de características e a distância Euclidiana entre este vetor e o de cada classe inicial. Cada região é considerada como pertencente à classe que obteve menor distância Euclidiana em relação ao seu vetor de características.

4.3 MANUTENÇÃO DAS CLASSES RELEVANTES

Como apenas N classes foram definidas pelo usuário e foi amostrado um número arbitrário de classes iniciais, deve-se reduzir o número de classes, até obter as N classes relevantes.

A redução de classes é realizada iterativamente, ou seja, a cada ciclo é retirada uma classe inicial, aquela que contém o menor número de regiões classificadas como pertencentes à ela. Essas regiões são reatribuídas entre as classes restantes, também utilizando-se a determinação da menor distância Euclidiana entre os vetores de características.

Finalmente, quando restarem apenas N classes, para cada pixel da imagem é construído um histograma para determinar sua frequência em relação às classes relevantes. A este pixel será atribuído a classe que tiver maior frequência.

5. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

Para avaliar a metodologia proposta, foram desenvolvidos experimentos utilizando um conjunto de imagens de satélite.

De acordo com Marceau *et al.* (Marceau, 1990), 90% da variabilidade na precisão de classificação usando textura dependem do tamanho da janela usado para calcular textura, enquanto os algoritmos particulares de textura determinam somente 10%. Essa é uma particularidade importante, pois a maioria dos estudos envolvendo textura abordam o desenvolvimento e a avaliação de algoritmos sem considerar o efeito do tamanho da janela.

Foi avaliado que o tamanho da janela, em pixels, depende da textura em questão para realizar uma classificação satisfatória. Janelas de tamanho pequeno não capturam o padrão particular da maioria das classes, enquanto janelas maiores podem incluir pixels de mais do que uma classe, resultando em classificações mais pobres. O tamanho ideal de janela seria aquele que produz a menor variabilidade na textura.

O método foi implementado utilizando computador com processador Pentium III 800MHz e 128Mbytes de memória RAM, sistema operacional Linux e linguagem de programação C.

Foram executados testes sobre as imagens 04(a) e 05(a), para classificação entre dois padrões distintos em ambas. As imagens 04(b) e 05(b) mostram os resultados obtidos pelo classificador.

FIGURA 04 – RESULTADO DA CLASSIFICAÇÃO. (A) IMAGEM ORIGINAL; (B) IMAGEM CLASSIFICADA UTILIZANDO UMA JANELA DE TAMANHO 8 POR 8 PIXELS.

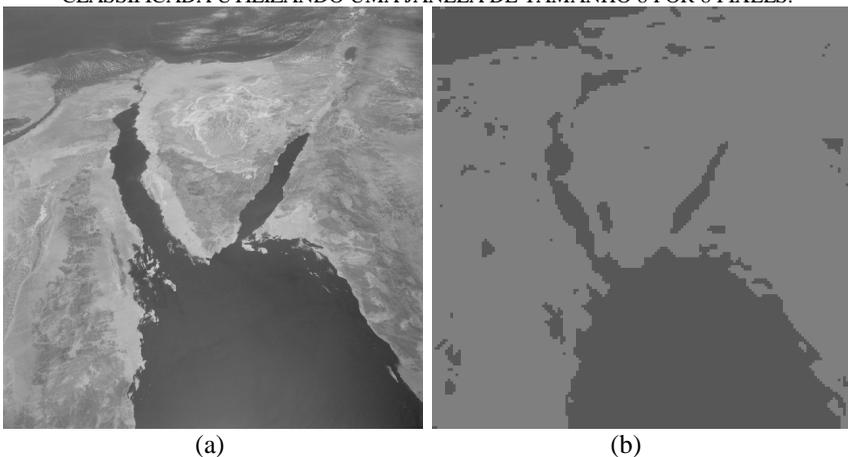
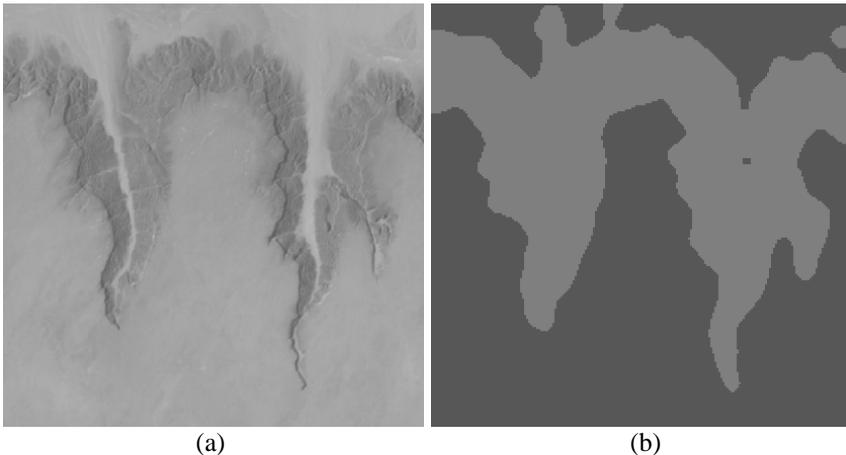


FIGURA 05 – RESULTADO DA CLASSIFICAÇÃO. (A) IMAGEM ORIGINAL; (B) IMAGEM CLASSIFICADA UTILIZANDO UMA JANELA DE TAMANHO 16 POR 16 PIXELS.



6. CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou um método para classificação de imagens digitais baseado na característica de textura. Na abordagem proposta, a textura foi descrita em termos de medidas estatísticas calculadas através de matrizes de co-ocorrência. A classificação requereu pouca intervenção do usuário por não possuir a etapa de treinamento. Resultados experimentais demonstraram o desempenho do método, permitindo sua aplicação em uma grande variedade de imagens.

7. REFERÊNCIAS

AKSOY, S. **Textural features for image database retrieval**. Seattle, 1998. Tese (Mestrado). Universidade de Washington.

AYALA, W.; DOMINGO J. Spatial Size Distributions: Applications to Shape and Texture Analysis. **IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence**, v. 23, n. 12, p. 1430-1442, 2001.

GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E. **Processamento de Imagens Digitais, tradução do original Digital Image Processing**, Edgard Blucher, 2000.

GOSE, E.; JOST, S.; JOHNSONBAUGH, R. **Pattern Recognition and Image Analysis**, Prentice Hall, 1996. 484 p.

HARALICK, R. M.; SHANMUGAM, K.; DINSTEN, I. Textural Features for Image Classification. **IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics**, v. 3, n.6, p. 610-621, 1973.

IVARINEN, J.; VISA, A. An Adaptive Texture and Shape Based Defect Classification. In: PROC. INTERNATIONAL CONF. ON PATTERN RECOGNITION, p. 117-123, 1998.

LIEW, S. C.; LIM, H.; KWOH, L. K.; TAY, G. K. Texture Analysis of SAR Images. In: International Geoscience and Remote Sensing Symposium, 1995, Nacional State of Singapore, Singapura. p. 1412-1414, 1995.

MARCEAU, D. J.; HOWARTH, P. J.; DUBOIS, J. M.; GRATTON, D. J. Evaluation of the Grey-Level Co-occurrence Matrix Method for Land-Cover Classification Using SPOT Imagery. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, Waterloo, Canadá, p.513-519, 1990.

MUDIGONDA, N. R.; RANGAYYAN, R. M.; DESAUTELS, J. E. L. Gradient and Texture Analysis for the Classification of Mammographic Masses. **IEEE Transactions on Medical Imaging**, v. 19, n. 10, p. 1032-1043, 2000.

PIERCE, L.; VHIE, H.; DOBSON, M. C.; ULABY, F. Texture Features for Classification with ERS/JERS Composites. **IEEE Transactions on Computers**, p. 348-350, 1998.

SCHISTAD, A. H.; JAIN, A. K. A Study of the Invariance Properties of Textural Features in SAR Images. **IEEE Transactions on Computers**, p. 670-672, 1995.

SCHOWENGERDT, R. A. **Techniques for Image Processing and Classification in Remote Sensing**, Academic Press, 2000.

SHABAN, M. A.; DIKSHIT, O. Textural Classification of High Resolution Digital Satellite Imagery. **IEEE Transactions on Computers**, p. 2590-2592, 1998.

8. AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer ao Programa Especial de Treinamento (PET) do Departamento de Informática da Universidade Federal do Paraná. As imagens foram gentilmente cedidas pela *Nasa's Planetary Data System*.

GERAÇÃO DE MODELO TOPOGRÁFICO DE TERRENO E VISUALIZAÇÃO 3D: UMA EXPERIÊNCIA DIDÁTICA

Hideo Araki¹

José Antônio Berutti Vieira²

1Universidade Federal do Paraná – haraki@geoc.ufpr.br

2Universidade Federal do Paraná – aberutti@ufpr.br

RESUMO

A evolução de recursos para processamento e análise de dados espaciais e para a aquisição de dados têm possibilitado novas formas de lidar com dados tridimensionais. Nas últimas décadas, a esfera da cartografia foi ampliada, passando a incluir representações dinâmicas, produções multimídia e modelos 3D interativos. A linguagem VRML (*Virtual Reality Modeling Language*) é uma forma textual de descrever cenas e ambientes em um espaço tridimensional. Utilizando um *plug-in*, o usuário pode, além de visualizar a cena 3D, também navegar e interagir com o mundo virtual. Neste trabalho serão apresentados de forma didática os principais conceitos relacionados com a criação de cenas VRML, e a sua extensão GeoVRML. São apresentados dois modelos topográficos gerados usando dados relativos a um levantamento da Universidade Federal do Paraná - Centro Politécnico. Para a geração dos modelos, uma rede triangular irregular (Triangular Irregular Network) foi gerada com um programa desenvolvido na linguagem JAVA. Os modelos topográficos foram exportados como arquivo VRML, e uma ortofoto, gerada em ambiente MATLAB, foi aplicada como textura sobre a superfície de um dos modelos. Sobre o modelo foram acrescentados alguns blocos de edificações dos Setores de Ciências da Terra e de Tecnologia, bem como as árvores e os postes de iluminação, como símbolos pontuais. São apresentadas considerações sobre visualização e interatividade em cenas VRML.

Palavras-chave: Visualização; Realidade Virtual; Modelo Topográfico do Terreno.

ABSTRACT

The evolution of resources for processing and analysis of spacial data and for the acquisition of data have been making possible new forms of working with three-dimensional data. In the last decades, the scope of the cartography was enlarged, starting to include dynamic representations, multimedia productions and interactive

3D models. The VRML (Virtual Reality Modeling Language) language is a textual form of describing scenes in a three-dimensional space. Using a plug-in, the user can, besides visualizing the scene 3D, also navigate and interact with the virtual world. In this work, the principal concepts related with the creation of VRML scenes, and the GeoVRML extension, will be presented in a didactic way. Two topographical models generated by using data related to a survey of Universidade Federal do Parana - Centro Politécnico, will be presented. For the generation of the models, an triangular irregular network (TIN) was generated with a program developed in the JAVA language. The topographical models were exported as VRML files, and an ortofoto, generated with MATLAB, was applied as texture on the surface of one of the models. On the model some buildings, as well as the trees and the illumination posts, were added as point symbols. Considerations are presented on visualization and interactivity in VRML scenes.

Keywords: Visualization; Virtual Reality; Topographic Surface Model.

1.INTRODUÇÃO

A fotogrametria era tradicionalmente a geradora de informações tridimensionais do terreno, mediante a tomada de fotografias estereoscópicas. Por outro lado, a cartografia se ocupava da representação da superfície tridimensional numa superfície quase sempre bidimensional. A evolução de recursos para processamento e análise de dados espaciais e para a aquisição de dados têm possibilitado novas formas de lidar com dados tridimensionais, facilitando a geração de produtos fotogramétricos e cartográficos digitais.

Por outro lado, embora a tecnologia digital tenha trazido grandes facilidades para a aquisição, geração de produtos e visualização, o custo dos programas comerciais para as áreas de fotogrametria, sensoriamento remoto, cartografia e sistemas de informações geográficas são altos para Instituições de Ensino Superior brasileiras no contexto atual. A necessidade de várias licenças para que os programas possam ser utilizados com a finalidade didática e as taxas de manutenção inviabilizam a possibilidade de equipar e manter os laboratórios didáticos adequadamente.

Por outro lado, as ferramentas para a geração e visualização de modelos VRML e GeoVRML estão disponíveis gratuitamente na Internet. Outra possibilidade também atrativa é o desenvolvimento de aplicativos para uso didático com linguagens de programação independentes de plataforma, como a linguagem JAVA.

Mesmo que as ferramentas estejam disponíveis, outra dificuldade adicional que se depara ao buscar gerar modelagens de superfícies topográficas com a finalidade didática é a disponibilidade de dados reais. No ano de 2002 foi realizado pelo Departamento de Geomática um levantamento do Campus da Cidade Universitária

da Universidade Federal do Paraná – Campus do Centro Politécnico, gerando carta planialtimétrica na escala 1:2000. Os dados planialtimétricos, juntamente com uma fotografia aérea, foram utilizados neste trabalho para gerar uma representação tridimensional (3D) da superfície topográfica de áreas situadas no Campus em VRML.

Na próxima seção serão apresentados os principais conceitos relacionados com a criação objetos e de cenas VRML e a sua extensão GeoVRM. Na terceira seção, é descrita a geração da rede triangular irregular (Triangular Irregular Network) com um programa desenvolvido na linguagem JAVA, e também as etapas para a geração da ortofoto digital em ambiente MATLAB. Na quarta seção são apresentados os modelos VRML gerados para duas áreas selecionadas no Campus. Sobre um dos modelos, foram acrescentados alguns blocos de edificações do Setor de Tecnologia, bem como as árvores e os postes de iluminação, como símbolos pontuais, permitindo a visualização 3D. Ao final, serão apresentadas considerações sobre a visualização 3D de modelos VRML.

2.VRML E GEOVRML

1.1.2.1 VRML

De fato, VRML (**Virtual Reality Modeling Language**) é um padrão para disponibilizar através da Internet objetos e cenas tridimensionais independente de plataforma de trabalho. Com um simples arquivo de texto é possível descrever objetos e cenas em um mundo virtual e permitir ao usuário interagir com este mundo usando um navegador VRML. Assim como VRML é uma linguagem, o navegador VRML é o seu interpretador, ou seja, este é capaz de traduzir a descrição da cena e dos objetos VRML para uma forma gráfica 3D.

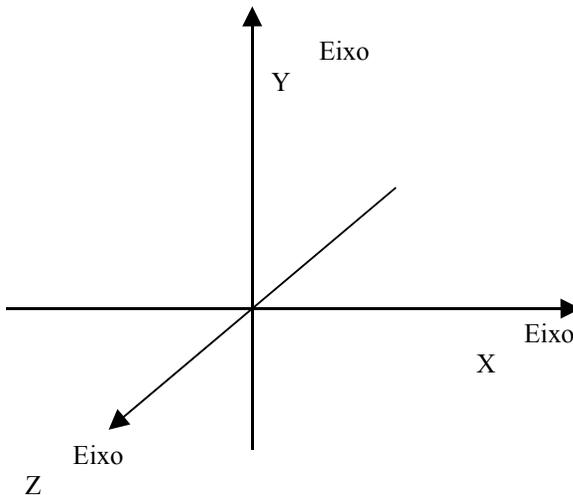
Em maio de 1995, surgiu a especificação da VRML 1.0. Em 1997, iniciou-se um trabalho do VAG (**VRML Architecture Group**), que é formado por colaboradores da comunidade VRML, para apresentar a especificação à ISO (**International Standards Organization**), que se chamou VRML97, culminando na versão VRML 2.0.

As cenas e ambientes são armazenadas em arquivos, em formato ASCII, com extensão **wrl** e estes podem ser lidos com um navegador VRML, localmente ou através da Internet. *Browsers* como o *Cosmo Player* ou *Cortona*, configurados como plug-in do *Internet Explorer* ou do *Netscape* são utilizados para ler o arquivo wrl, interpretar a semântica e construir o mundo virtual 3D. O *browser* também proporciona uma interface por meio da qual o usuário pode navegar através do mundo virtual, interagindo com o mesmo, e também iniciar animações ou ouvir efeitos sonoros.

A VRML segue o paradigma de programação orientado a objeto, sendo possível criar mundos dirigidos por eventos, compostos de objetos investidos com comportamento. Estes objetos interagem e mantêm relações dinâmicas por meio de mensagens. Os blocos básicos da VRML são denominados nós. Existem vários tipos de nós em VRML dentre estes tem-se o **Shape**, que descreve primitivas geométricas básicas que podem ser do tipo: **Cone**, **Cylinder**, **Sphere** ou **Box**.

Os nós encapsulam campos que definem propriedades tais como dimensões e aparência. A VRML utiliza um sistema de coordenadas cartesianas tridimensional local (X,Y,Z), com origem localizada no centro da janela do *browser*, com os eixos orientados conforme mostrado na figura 1. A unidade utilizada para as coordenadas é o metro.

FIGURA1. SISTEMA DE COORDENADAS VRML. O EIXO Z É PERPENDICULAR AO PLANO DA FOLHA, COM SENTIDO POSITIVO PARA FORA DO PLANO.



Uma cena VRML é formada por objetos VRML. Um objeto VRML é tratado como um nó. Em conseqüência disto, pode-se dizer que uma cena VRML tem a estrutura de um grafo em que os objetos são os nós deste grafo. As figuras 2, 3 e 4 mostram exemplos de arquivos no padrão VRML 2.0 para gerar figuras geométricas de primitivas básicas: **cylinder**, **cone** e **box**, respectivamente..

FIGURA 2. EXEMPLO DE ARQUIVO VRML PARA A CRIAÇÃO DE UM CILINDRO E A RESPECTIVA VISUALIZAÇÃO NO *BROWSER*.

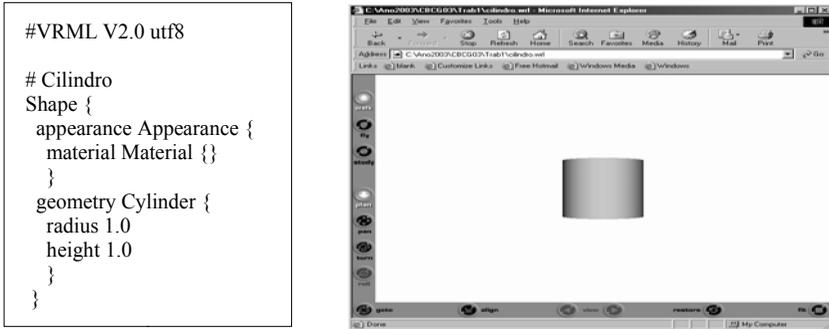


FIGURA 3. EXEMPLO DE CRIAÇÃO DE UM CONE.

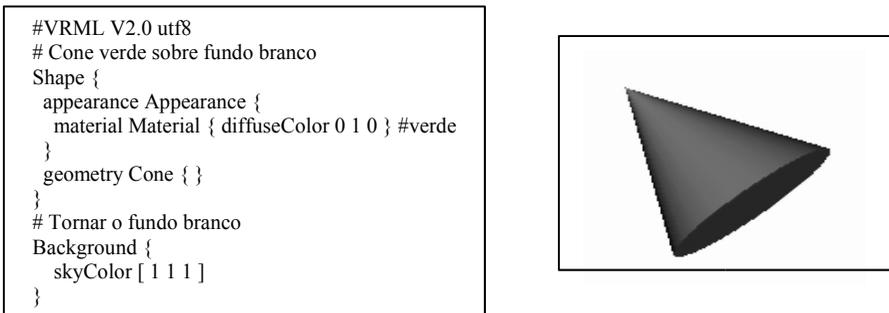
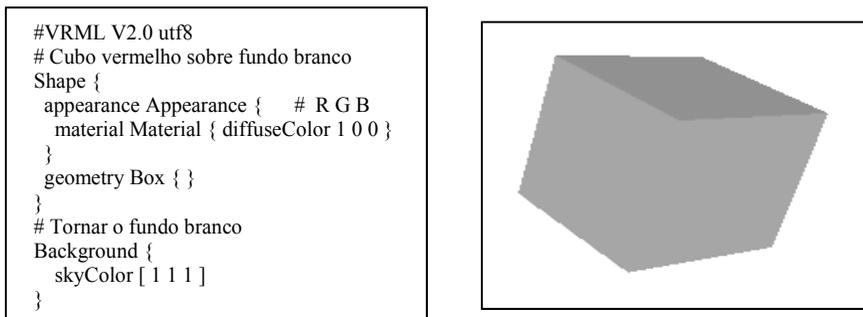


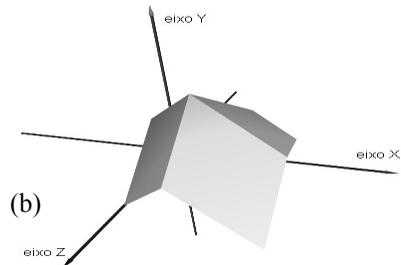
FIGURA 4. EXEMPLO DE CRIAÇÃO DE UM CUBO.



Outros tipos de nós importantes são: PointSet, LineSet e FaceSet, que permitem respectivamente a criação de elementos pontuais, lineares e faces planas que podem ser combinadas para formar uma superfície. A modelagem de superfície pode ser feita com os nós *IndexedFaceSets* e *ElevationGrid*, que equivalem a representação por TIN (Triangulated irregular Networks) e DEM (Digital Elevation Models), respectivamente (figura 5).

FIGURAS. REPRESENTAÇÃO DE SUPERFÍCIE COM *IndexedFaceSet* e *Elevation Grid*.

<pre>#VRML V2.0 utf8 Transform { translation -2 -3 0 children Shape { appearance Appearance { material Material { diffuseColor 1 1 1 } } geometry IndexedFaceSet { coord Coordinate { point[0.92 5.85 0.10 2.48 5.73 0.30 0.30 4.79 0.50 1.55 4.85 0.50 2.39 4.68 0.90] } coordIndex[0 3 2 -1, 1 0 3 -1, 2 3 4 -1, 3 1 4] color Color { color[1 0 0, 0 1 0, 0 0 1, 0.5 0.5 0.5] } colorPerVertex FALSE colorIndex[0, 1, 2, 3] solid FALSE } } } Background {skyColor 1 1 1 }</pre>	<pre>#VRML V2.0 utf8 Shape { appearance Appearance { material Material { diffuseColor 0.0 0.5 1.0 } } geometry ElevationGrid { xDimension 4 xSpacing 1 zDimension 4 zSpacing 1 solid FALSE height [2 3 3 2 2 3 2 1 1 2 1 0 1 1 0 -1] color Color { color[1.4 0 1.6 0 1.8 0 11.2 1.6 0 1.8 0 11.2 11.4 1.8 0 11.2 11.4 11.6 1 1 0 11.4 11.6 11.8] } } creaseAngle 0.0 } Background {skyColor 1 1 1 }</pre>
---	---



A figura 5a mostra um objeto VRML que é composto por cinco pontos, que combinados formam quatro faces, que são coloridas respectivamente em vermelho, verde, azul e cinza. As cores são especificadas por triplas de valores RGB compreendidos no intervalo de 0 a 1. Antes de criar o objeto, é feita uma tranlação de coordenadas segundo os eixos X e Y. A figura 5b mostra a utilização de *ElevationGrid* com a especificação de uma grade regular de 4 x 4 metros, com espaçamento de 1 metro.

Outros nós agrupam objetos, definem pontos de vista e iluminação, controlam animação, detectam colisões, e podem tratar entradas fornecidas pelo usuário num procedimento interativo. A VRML tem a capacidade de embutir sons, imagens e vídeo na cena. O usuário pode, além de visualizar a cena tridimensional, também navegar sobre a mesma e interagir com o mundo virtual

2.2 GEOVRML

Uma vez que as coordenadas são representadas com precisão simples, a VRML apresenta limitação na representação de dados geográficos e cartográficos, não sendo possível resolução maior do que 10 metros. O uso de sistemas de coordenadas cartesianas também dificulta a representação de dados que têm suas coordenadas num sistema de projeção cartográfica.

Dentro de um contexto geodésico-cartográfico, o maior problema que existia em se utilizar a VRML para visualizar cenas sobre a superfície terrestre é que a VRML não contempla tipos de projeções cartográficas, como por exemplo a UTM (**Universal Transversal Mercator**) e nem valores de coordenadas com precisão dupla, como por exemplo coordenadas geocêntricas ou coordenadas geodésicas (latitude e longitude). Neste sentido, foi formado no âmbito do *Web3D Consortium* o grupo de trabalho GeoVRML, que discute e estabelece especificações para que se possa usar dados geodésicos-cartográficos com a VRML. Usando então o pacote de métodos e classes GeoVRML é possível lidar com cenas VRML referidas a um sistema de coordenadas geodésico ou cartográfico.

3. GERAÇÃO DE MODELOS VRML DO CENTRO POLITÉCNICO

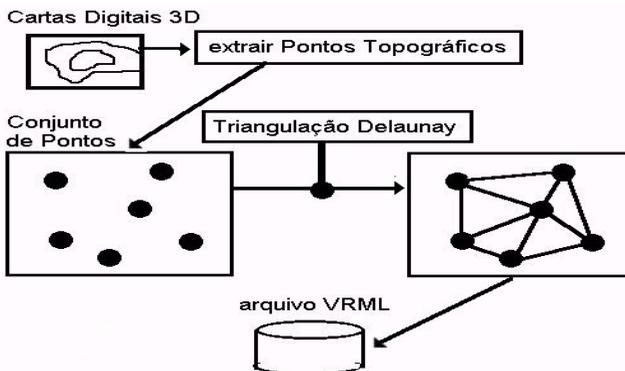
3.1 MODELO TOPOGRÁFICO DIGITAL

Para os experimentos, foi utilizada uma restituição fotogramétrica do Centro Politécnico, na escala de 1:2000, a partir da qual foram extraídos um conjunto de pontos e, em seguida, feita a triangulação para gerar o Modelo Topográfico Digital. Os programas especificamente concebidos para isto foram escritos em linguagem JAVA. Como resultado deste processamento tem-se um arquivo com somente uma lista de pontos e suas respectivas coordenadas que servem de entrada para o

programa que processa a triangulação. Na figura 6 é apresentado o fluxo de processamento desta etapa.

Duas áreas foram definidas para os testes: a primeira, localizada na subsele do Setor de Ciências da Saúde e, a outra, no Centro Politécnico, incluindo algumas edificações dos Setores de Ciências da Terra e de Tecnologia. Os resultados obtidos são apresentados na próxima seção.

FIGURA 6. FLUXO DE PROCESSAMENTO PARA GERAÇÃO DA SUPERFÍCIE TOPOGRÁFICA.

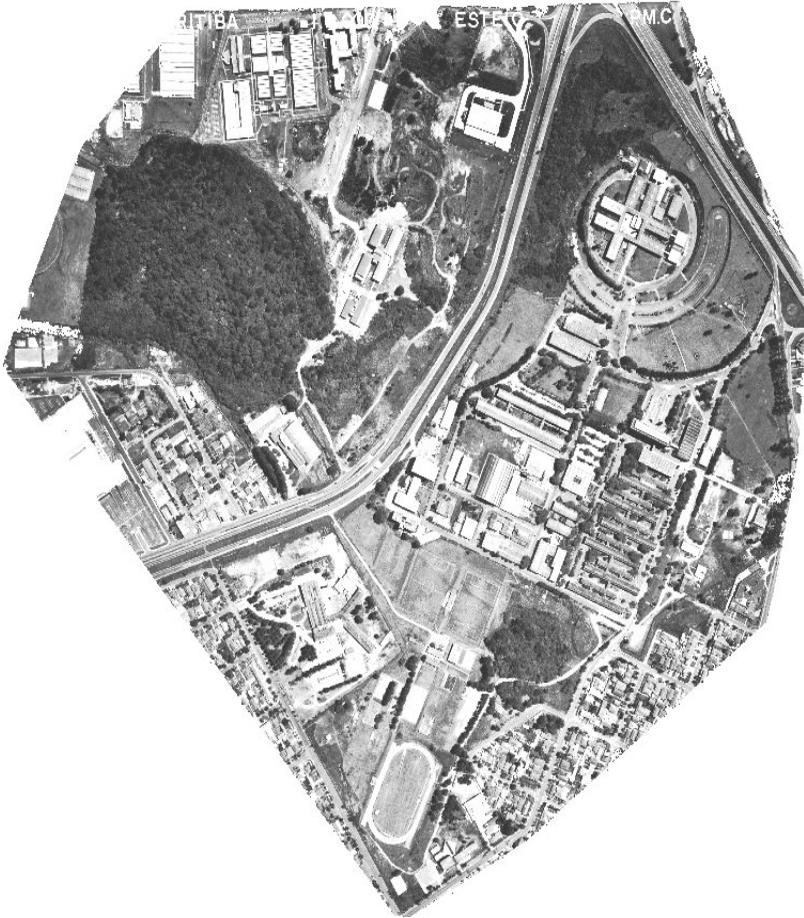


3.2 GERAÇÃO DA ORTOFOTO

A tecnologia digital permite gerar ortofotos digitais desde que se tenha um modelo topográfico digital, e sejam conhecidas coordenadas de terreno de pontos bem identificados nas fotos para a determinação dos parâmetros de orientação exterior. O processo de geração de ortofotos digitais pode ser feito em microcomputadores, sem a necessidade dos refinados equipamentos óticos anteriormente necessários.

A partir do mapa digital na escala 1:2000 foi gerado o modelo topográfico digital. Como verdade de terreno foram utilizados pontos medidos no mapa digital, e a orientação exterior foi realizada com a utilização da transformação conforme 3D implementada por WOLF e DEWITT e descrita por GRUSSENMEYER e KHALIL (2002). A geração da ortofoto foi implementada no ambiente MATLAB, sendo utilizada a interpolação bilinear para gerar o valor de cada pixel. A área para a geração da ortofoto foi delimitada pela disponibilidade de dados altimétricos, sendo maior do que a área do Campus. A figura 7 mostra a ortofoto resultante.

FIGURA 7. ORTOFOTO DO CAMPUS.



4. MODELOS TOPOGRÁFICOS GERADOS

Na figura 8 é apresentado o mapa digital da primeira área de teste, a partir do qual foram extraídos 2789 pontos topográficos que foram utilizados na triangulação. Na figura 9 é apresentada a triangulação de Delaunay resultante e na figura 10 é apresentada uma vista isogonal da superfície topográfica com o plug-in Cortona.

FIGURA 8. DETALHE DO MAPA DIGITAL .

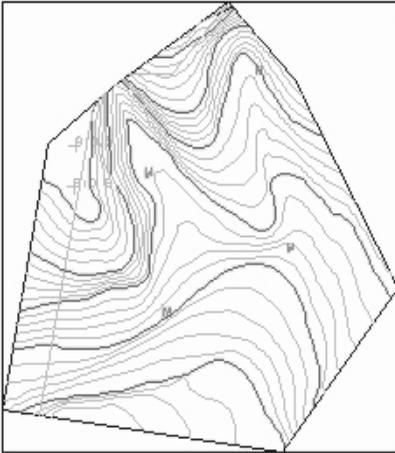


FIGURA 9. REDE DE TRIÂNGULOS DE DELAUNAY.

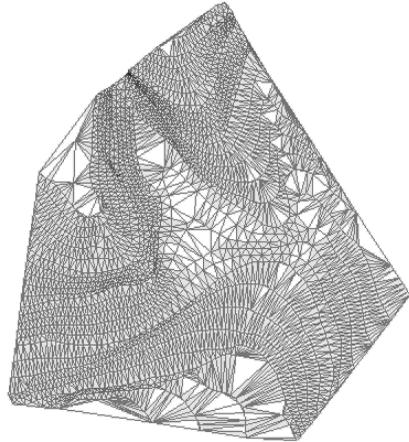
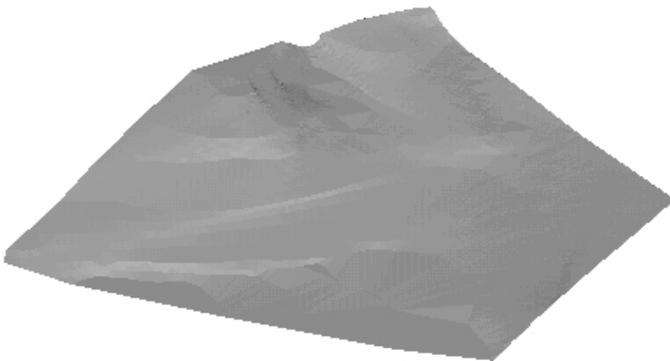


FIGURA 10. VISTA ISOGONAL DA SUPERFÍCIE GERADA.



A figura 11 mostra o modelo da superfície topográfica gerada a partir de 319 pontos. Sobre a superfície foram acrescentados alguns blocos de edificações e as árvores. A figura 12 mostra mais detalhadamente a representação VRML de símbolos cartográficos pontuais como postes e árvores. A figura 13 mostra a utilização da ortofoto como capa sobre a superfície topográfica.

FIGURA 11. REPRESENTAÇÃO DA SUPERFÍCIE TOPOGRÁFICA, COM A ADIÇÃO DE EDIFICAÇÕES E ÁRVORES.

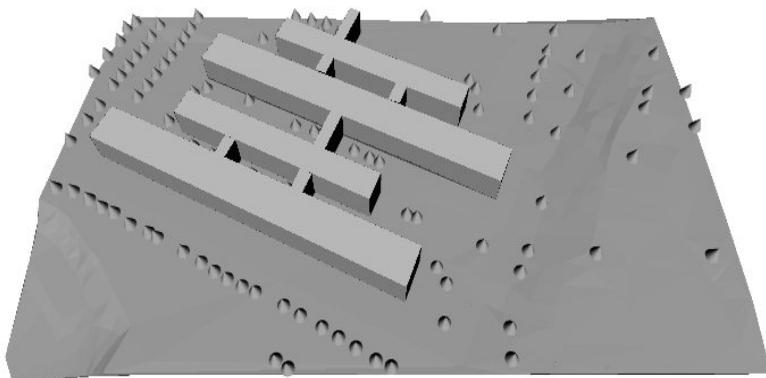


FIGURA 12. REPRESENTAÇÃO DE SÍMBOLOS PONTUAIS: ÁRVORES E POSTES.

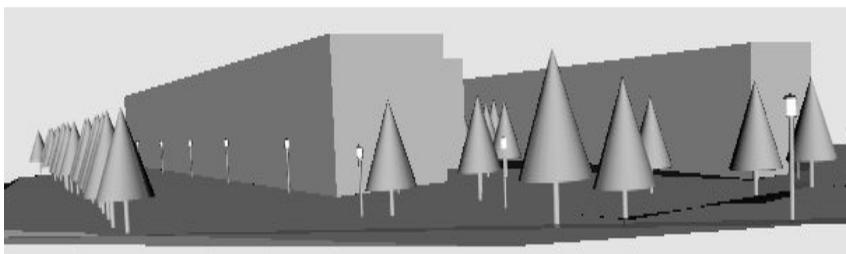
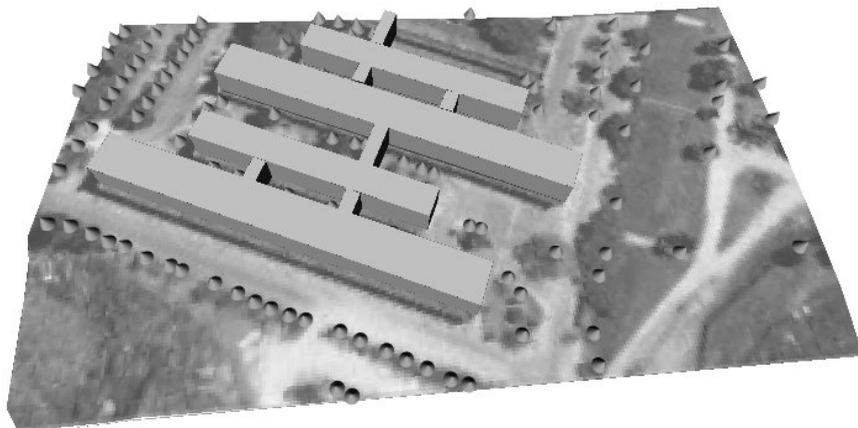


FIGURA 13. REPRESENTAÇÃO DA SUPERFÍCIE TOPOGRÁFICA, COM A ADIÇÃO DA ORTOFOTO COMO TEXTURA.



5. CONSIDERAÇÕES

A realidade virtual oferece novos modos de explorar dados espaciais. Com a apresentação de informações como mundos virtuais, os leitores de mapas podem utilizar as habilidades de navegação e observação no mundo tridimensional. A sensação de imersão, que é uma das características definidoras da realidade virtual, pode ser usada como um auxílio interpretativo poderoso. Assim como a representação cartográfica mostra uma abstração do mundo real, também a realidade virtual mostra mundos virtuais mais enfáticos e selecionados do que a natureza cotidiana (DYKES et al, 1999).

Na interação do usuário com mundos VRML, a navegação é problemática quando os graus de liberdade do dispositivo de interação, como o mouse, não se equiparam com as possibilidades inerentes aos mundos VRML 3D. Um compromisso entre realismo e velocidade/robustez significa que modelos extremamente minuciosos, realísticos, e densos requerem melhorias significativas à combinação VRML/browser.

6. REFERÊNCIAS

AMES, A. L.; NADEAU, D. R. ; MORELAND, J. L. **The VRML 2.0 Sourcebook**, 2ed. New York: John Wiley, 1997. 654 p.

CAREY, R.; BELL, G. **The Annotated VRML97 Reference Manual**. Disponível em: <http://www.web3d.org/resources/vrml_ref_manual/Book.html> Acesso em: abril 2003.

DYKES, J. A. ; MOORE, K. M. & FAIRBAIN, D. **From Chernoff to Imhof and Beyond: VRML & Cartography**. VRML'99.

GRUSSENMEYER, P.; KHALIL, O. A. Solutions for exterior orientation in photogrammetry: a review. **Photogrammetric Record**, 17(100): 625-634, 2002.

LEMAY, L.; COUCH, J.; MURDOCK, K. **Laura Lemay's Web Workshop 3D Graphics & VRML2.0**.

SOWIZRAL, H.; NADEAU, D. **SIGGRAPH 99: Introduction to Programming with Java 3D**. Disponível em: <http://www.sdsc.edu/~nadeau/Courses/Siggraph99/>.> Acesso em: abril 2003.

NADEAU, D. **VRML97: Introduction to VRML 2.0**. Disponível em: <<http://www.sdsc.edu/~nadeau/Courses/VRML97/>> Acesso em: abril 2003.

VIEIRA, A. J. B. **Modelagem espaço-temporal de fenômenos topográficos**. Plano de Tese apresentado em Seminário de Qualificação do Curso de Pós Graduação em Ciências Geodésicas da Universidade Federal do Paraná. Curitiba: Julho 2001. 41p.

VIEIRA, A. J. B.; CARVALHO, C. A. P.; SLUTER, C. R.; CAMARGO, N. F.; LIMA, J. D. Modelo Espaço-Temporal de Fenômenos Terrestres. **Anais do III Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas**. Curitiba, Paraná. 2003.7p

7.AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à empresa ESTEIO S.A. e em especial ao engenheiro cartógrafo Rogerio Bourdenousky, pela cessão da fotografia aérea utilizada neste trabalho, e aos colegas do Departamento de Geomática que participaram da execução do levantamento do Campus do Centro Politécnico, pela disponibilização dos dados.

SEGMENTAÇÃO *WATERSHED* UTILIZANDO A TÉCNICA DE MÍNIMOS IMPOSTOS

Nilcilene das Graças Medeiros¹
Erivaldo Antonio da Silva²
José Roberto Nogueira³

- 1 Universidade Estadual Paulista - email: medeiros@prudente.unesp.br
- 2 Universidade Estadual Paulista - email: erivaldo@prudente.unesp.br
- 3 Universidade Estadual Paulista - email: jrnog@prudente.unesp.br

RESUMO

O uso integrado de tecnologias pode reunir ferramentas essenciais na determinação de processos de extração de feições. Neste trabalho, esse uso se dá com a integração de dados de Sensoriamento Remoto e técnicas de Processamento Digital de Imagens (PDI), em especial a ferramenta Morfologia Matemática. Os operadores básicos da morfologia matemática são, a erosão e a dilatação. A erosão e dilatação fornecem condições básicas para a elaboração de outros filtros morfológicos, como a abertura, fechamento, gradiente morfológico, etc. O processo de extração de feições utilizado para este trabalho é realizado com o uso de operadores morfológicos voltados à segmentação *watershed*. Em geral, o uso do operador *watershed* no processo de segmentação, produz resultados com segmentação excessiva, a qual geralmente é ocasionada pela textura existente nas imagens de sensoriamento remoto. Na etapa de segmentação, foram usados operadores de pré-processamento morfológicos nas imagens originais, contidos na *toolbox* de morfologia acoplada ao *software* MATLAB, e implementada a abordagem de mínimos impostos, usada para gerar a imagem de marcadores. A imagem original e a imagem de marcadores são parâmetros de entrada na função *watershed*. As imagens utilizadas como área de estudo, foram as imagens orbitais do satélite Landsat, dos sensores TM e TM+, que correspondente respectivamente à região do aeroporto Antonio Carlos Jobim e à região de Presidente Prudente. O *software* MATLAB (versão 5.4) foi utilizado na implementação das rotinas relacionadas à técnica dos mínimos impostos. Com a realização dos testes foi verificado o desempenho dos operadores implementados e a análise dos resultados. Vale ressaltar que a integração das tecnologias tratadas neste trabalho visam realizar a extração semi-automática de feições lineares com a finalidade de contribuir em posteriores processos de identificação de feições ou à futuros processos de atualização cartográfica.

Palavras-chave: Sensoriamento Remoto; Morfologia Matemática; Segmentação de imagens;

ABSTRACT

Integration of technologies can be a useful approach in the feature extraction process. In this work, this use is given with the integration of data of feature extraction. In this work, Remote Sensing data and Digital Image Processing techniques are integrated, with emphasis in Mathematical Morphology. The basic operators of mathematical morphology are erosion and dilation. Erosion and dilation provide basic conditions for derivation of other morphologic filters, such as opening, closing, morphologic gradient, etc. Feature extraction is performed, in this work, using the morphologic operator of the watershed segmentation. Generally, the use of the watershed segmentation, results in oversegmentation, which is caused by the existing texture in the remote sensing images. In order to test the proposed approach some morphological operators related to early processing were applied in unprocessed images, using an existing MatLab Toolbox. Furthermore, the *minima impose* technique generating marker images, were implemented in the MatLab environment. The raw, the enhanced and the marker images were used as input parameters in the segmentation process with the *Watershed* operator. Orbital images of the Landsat satellite TM and ETM+ sensors, corresponding respectively to the region of the Antonio Carlos Jobim airport and to the region of President Prudente, were used as test areas. MATLAB software (version 5.4) was used in the implementation of the routines related to the technique of *minima impose*. The performance of the implemented operators and the results were analysed after some tests with the existing images. Extraction of linear features, such as highways, airports, etc., can contribute in mapping applications such as the feature identification or cartographic updating.

Keywords: Remote Sensing; Mathematical Morphology; Image Segmentation;

1. INTRODUÇÃO

A segmentação de imagens necessita de procedimentos eficazes para a extração de feições, os quais são de grande interesse na automação de processos, podendo ser utilizados em Reconhecimento Automático, Visão de Máquina e Controle de Qualidade, sendo muito utilizados no caso específico da área de cartografia para atualização e identificação de feições.

O uso integrado de tecnologias pode reunir estruturas e ferramentas essenciais na determinação de processos de extração de feições para utilização na identificação das mesmas e atualização de bases cartográficas.

Neste trabalho esse uso se dá com a integração de dados de Sensoriamento Remoto e técnicas de Processamento Digital de Imagens (PDI), em especial a ferramenta Morfologia Matemática, que tem como princípio descrever quantitativamente as estruturas geométricas e funciona como uma técnica na concepção de algoritmos na área de PDI, dispondo de ferramentas básicas, como detectores de bordas e filtros morfológicos.

O processo de extração de feições utilizado para este trabalho é realizado com operadores morfológicos voltados à segmentação de imagens. A principal ferramenta de segmentação morfológica é baseada na transformação que define a linha divisora de águas (LDA) ou *watershed* de uma função.

Geralmente a transformação *watershed* produz resultados com excesso na segmentação, derivada principalmente da textura nas imagens utilizadas.

Neste trabalho foi utilizada a técnica de mínimos impostos no processo de segmentação, visando minimizar a segmentação excessiva.

A técnica de mínimos impostos é comumente utilizada para gerar a imagem de marcadores, que é um dos parâmetros de entrada no processo de segmentação *watershed*.

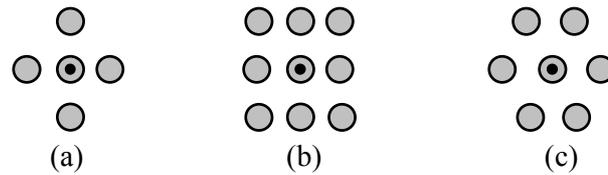
A abordagem de mínimos impostos é relevante para o processo de segmentação *watershed*, visto que realiza a imposição dos mínimos de interesse e produz a diminuição das feições extraídas.

2. MORFOLOGIA MATEMÁTICA

A Morfologia Matemática surgiu na década de sessenta, mais precisamente entre 1964 e 1968, onde se estabeleceram as primeiras noções teóricas derivadas de pesquisas feitas por G. Matheron e J. Serra. No mesmo período foi fundado o Centre de Morphologie Mathématique na École de Mines de Paris (França), permanecendo em atividade desde então.

Segundo Facon (1996), a base da morfologia matemática se apóia no princípio da análise da estrutura geométrica das imagens. Isto é feito através do uso do elemento estruturante, o qual é caracterizado como sendo um conjunto completamente definido e conhecido (forma, tamanho), que é comparado, a partir de uma transformação, ao conjunto desconhecido da imagem. Alguns exemplos de elementos estruturantes (3x3) com origem no centro do elemento são dados na figura 1.

FIGURA 1 - ELEMENTO ESTRUTURANTE - (a) CRUZ, (b) QUADRADO, (c) HEXAGONAL.



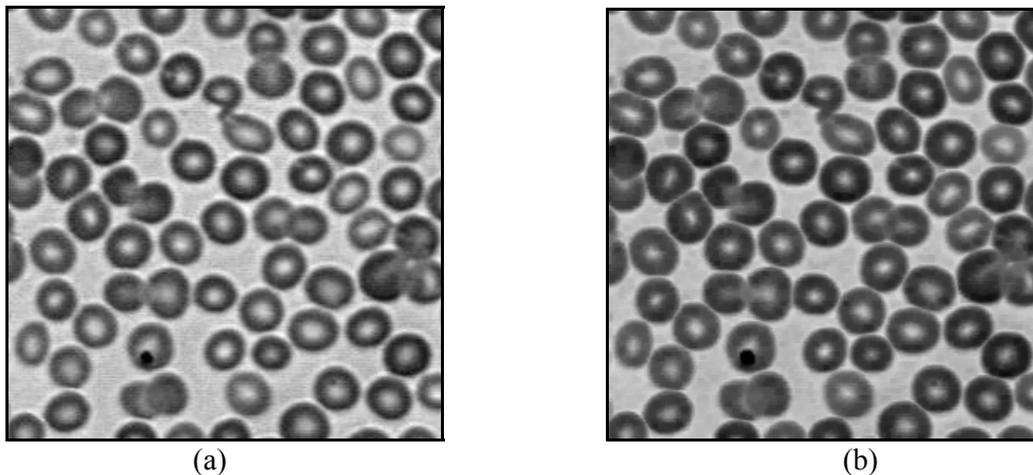
A morfologia matemática se constitui a partir de dois operadores básicos, a erosão e a dilatação.

Definição 1. De acordo com Soille (1999), a erosão de f por um elemento estruturante B é definida como:

$$[\varepsilon_B(f)](x) = \min_{b \in B} \{f(x+b) - B(b)\} \quad (1)$$

O resultado visual da imagem erodida em níveis de cinza apresenta-se com redução dos padrões claros e o alargamento das regiões escuras. Esses efeitos podem ser observados nas figuras 2a e 2b, onde foi realizada a aplicação do operador erosão em níveis de cinza, com elemento estruturante de tamanho 3x3, máscara cheia, com origem no centro físico do elemento.

FIGURA 2 – IMAGEM ORIGINAL (a), IMAGEM RESULTANTE DA EROÇÃO EM NÍVEIS DE CINZA (b).

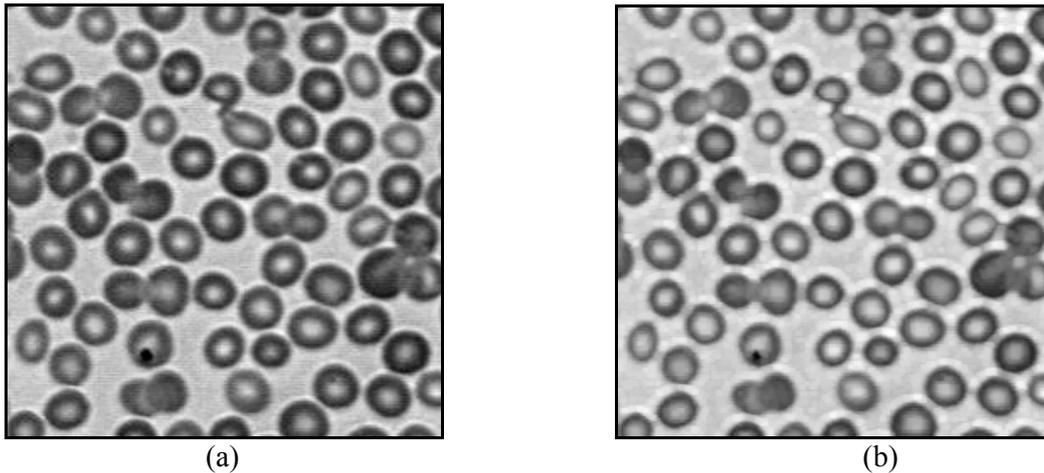


Definição 2. De acordo com Soille (1999), a dilatação de uma imagem em tons de cinza por um elemento estruturante é definida como:

$$[\delta_B(f)](x) = \max_{b \in B} f(x+b) \quad (2)$$

O resultado visual da imagem dilatada em níveis de cinza apresenta-se com diminuições dos padrões escuros e alargamento nas regiões claras. As figuras 3a e 3b ilustram respectivamente, a imagem original e a aplicação do operador dilatação em níveis de cinza com elemento estruturante de tamanho 3x3, máscara cheia, com origem no centro físico do elemento.

FIGURA 3 – IMAGEM ORIGINAL (a), IMAGEM RESULTANTE DA DILATAÇÃO EM NÍVEIS DE CINZA (b).



Os operadores dilatação e erosão morfológicos, aplicados isoladamente, são transformações que nem sempre evidenciam características das imagens. De qualquer forma, permitem construir algumas funções muito interessantes, como por exemplo, o gradiente morfológico, fechamento, abertura, segmentação, etc.

2.1 SEGMENTAÇÃO MORFOLÓGICA

Geralmente o primeiro passo em análise de imagens é a segmentação da imagem. A segmentação subdivide uma imagem em suas partes ou objetos constituintes. O nível dessa subdivisão deve ser realizado dependendo do objetivo que se quer alcançar. Ou seja, a segmentação deve parar quando os objetos de interesse forem isolados (Gonzalez e Woods, 2000).

Os métodos existentes para segmentar uma imagem utilizam basicamente duas idéias. Uma delas é achar os contornos dos objetos na imagem. A outra, é agrupar pontos que tenham características semelhantes até que o objeto de interesse seja reconstruído. O problema de identificação de contornos pode ser resolvido utilizando o operador *watershed*, que é a principal ferramenta de segmentação morfológica, também conhecida como divisor de águas.

Uma idéia intuitiva da noção *watershed* pode ser constituída considerando uma imagem em níveis de cinza representada por uma superfície topográfica. Os níveis, neste caso, indicam a altitude do ponto no relevo. Suponha, que os mínimos em cada

uma das bacias (mínimos regionais) constituindo a superfície sejam perfurados e que, a imersão das bacias ocorra com velocidade vertical constante. A água que penetra regularmente pelos orifícios preenche a superfície topográfica. Durante o preenchimento, dois ou mais fluxos vindos de mínimos diferentes podem se unir. Os diques construídos na superfície para evitar que tal junção de águas ocorra constituem as linhas *watersheds* (Unicamp, 2002).

De acordo com Prêteux (1993) o *watershed* associado ao conjunto dos mínimos regionais $M = \cup_{i \in \mathbb{R}} m_i$ de uma imagem S pode ser definido como o complemento da união de todas as bacias de retenção $C_f(m_i)$, e é expresso pela seguinte expressão:

$$WL(f) = [\cup_{i \in \mathbb{R}} C_f(m_i)]^c \quad (3)$$

onde, m_i : mínimo regional;
 $C_f(m_i)$: bacia de retenção.

2.2 MÍNIMOS IMPOSTOS

A diminuição da segmentação excessiva presente nas imagens, depende da redução dos mínimos excedentes da imagem original. Um dos meios empregados, nesse caso, consiste em impor os mínimos da imagem.

As técnicas de mínimos impostos concernem na filtragem de todos os mínimos existentes na imagem. Assim, essas técnicas requerem um conjunto de marcadores que marquem apenas os objetos com padrões escuros, que sejam relevantes na cena, em relação a todos outros objetos com baixo valor de brilho, considerados irrelevantes. Esses marcadores podem ser obtidos usando algumas transformações apropriadas na imagem de entrada ou, alternativamente, podem ser definidos manualmente pelo usuário.

Uma das abordagens de mínimos impostos é encontrada em Soille (1999), e será descrita a seguir.

A imagem de marcador conceituada como f_m é então definida para cada pixel x da imagem de entrada, como segue:

$$f_m(x) = \begin{cases} 0, & \text{se } x \text{ for um marcador} \\ t_{\max}, & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (4)$$

Segundo Soille (1999), a imposição de mínimos na imagem de entrada f é realizada em duas etapas.

A primeira etapa é constituída pelo mínimo (“ \wedge ” operador de mínimo entre as funções) entre a imagem de entrada e a imagem de marcador, calculada a partir da função $f \wedge f_m$.

Desta maneira, os mínimos são criados em locais correspondentes aos marcadores, isso se eles já não existirem. Certificando assim, que a imagem resultante possui valores menores ou igual à imagem dos marcadores.

Além disso, alguns mínimos impostos podem já pertencer a um mínimo de f em nível 0. Conseqüentemente torna-se necessário considerar o mínimo $(f + 1) \wedge f_m$ ao invés do mínimo $f \wedge f_m$, para assegurar que apenas os mínimos que foram impostos estejam na imagem de marcadores. A segunda etapa consiste em uma reconstrução morfológica por erosão de $(f + 1) \wedge f_m$ da imagem marcada f :

$$R_{[(f+1) \wedge f_m]}^*(f_m) \quad (5)$$

A reconstrução por erosão de uma imagem g para uma imagem f , sendo que o domínio de f deve ser igual ao domínio de g ($D_f = D_g$) e a imagem f deve ser maior ou igual a imagem g ($f \geq g$), é definida como a erosão geodésica de f com relação a g até que a estabilidade seja alcançada. Isto denotado por $R_g^*(f)$:

$$R_g^*(f) = \varepsilon_g^i(f) \quad (6)$$

onde, i é tal que $\varepsilon_g^i(f) = \varepsilon_g^{(i+1)}(f)$.

A erosão geodésica de tamanho unitário da imagem marcadora f com relação a imagem máscara g , é denotada por $\varepsilon_g^{(1)}(f)$, e é definida pelo máximo dessas imagens:

$$\varepsilon_g^{(1)}(f) = \varepsilon^{(1)}(f) \vee g \quad (7)$$

onde, $f \geq g$.

Primeiramente a imagem marcadora é erodida e depois é realizada a operação de máximo com a imagem g . Devido a operação de máximo entre as imagens, a erosão geodésica de uma imagem será maior ou igual a imagem g .

A erosão geodésica de tamanho n da imagem marcadora f com relação a imagem g é obtida realizando n erosões geodésicas sucessivas de f com relação a g :

$$\varepsilon_g^{(n)}(f) = \varepsilon^{(1)}[\varepsilon_g^{(n-1)}(f)] \quad (8)$$

onde, $\varepsilon_g^{(0)}(f) = f$

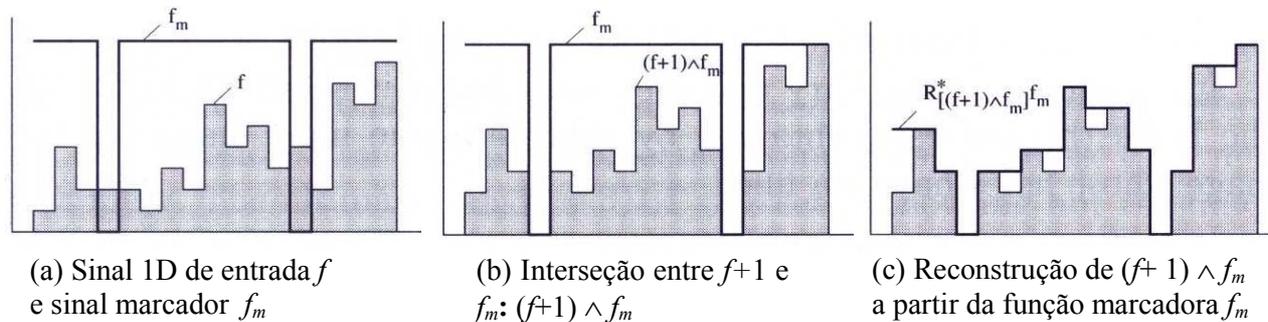
A reconstrução por erosão de g para f é então equivalente ao complemento da reconstrução de g^c de f^c .

$$R_g^*(f) = [R_{g^c}(f^c)]^c \quad (9)$$

Erosões geodésicas sucessivas são aplicadas no sinal marcador f ajustando-se e sendo totalmente limitado pelo sinal máscara g .

Com as duas etapas concluídas é estabelecida, a partir do princípio de mínimos impostos, a geração da imagem de marcadores. Um exemplo da imposição de mínimos é ilustrada na figura 4, em um sinal unidimensional (1D).

FIGURA 4 - TÉCNICA DE MÍNIMOS IMPOSTOS.



Fonte: Soille (1999).

Da figura 4, verifica-se que o sinal de entrada f contém sete mínimos, os dois mínimos do sinal marcador f_m são impostos para o sinal de entrada usando a reconstrução morfológica por erosão.

3. METODOLOGIA

Para realizar a implementação do operador mínimos impostos foram efetuadas inicialmente as implementações dos operadores básicos dilatação e erosão.

Os operadores morfológicos erosão e dilatação encontram-se implementados na *toolbox* de morfologia matemática acoplada ao *software* MATLAB. No entanto, foi necessário realizar a implementação desses operadores, visto que os mesmos são utilizados na construção de outros operadores morfológicos. As imagens utilizadas nos experimentos foram a imagem orbital correspondente à região do Aeroporto Maestro Antônio Carlos Jobim (Galeão) no Rio de Janeiro, do satélite Landsat/TM, banda 3, datada de 01/08/87, órbita ponto 271/076, e a imagem orbital do sistema Landsat ETM+ correspondente à região de Presidente Prudente datada de 24/09/1999, com órbita ponto 222/075.

A abordagem implementada de mínimos impostos constitui-se em duas etapas. A primeira etapa está relacionada com a interseção da imagem original com a imagem marcadora. Para isso, o primeiro passo foi criar uma função que atribuí-se aos níveis de brilho de valor zero, o valor de brilho 1 (um), garantindo assim que apenas os mínimos estabelecidos fossem os mínimos impostos. Foi criada, em seqüência a função de interseção entre a imagem original sem níveis de brilho zero com a imagem marcadora.

A imagem marcadora pode ser estabelecida a partir de um limiar na imagem original. No entanto, muitos detalhes são capturados porque a imagem original geralmente possui baixo contraste entre as feições, apresentando valores de brilho muito próximos. Quando se realiza um pré-tratamento na imagem, os valores próximos são distanciados, devido ao maior realce que algumas feições assumem. Normalmente esse tratamento é realizado para realçar apenas as feições de interesse. Porém, quase sempre é impossível separar totalmente os alvos de interesse do restante da cena, utilizando apenas valores de brilho como parâmetro para essa operação, ou seja, sem o uso de algum algoritmo de reconhecimento de padrão. Desta forma, a imagem tratada melhora muito o resultado da limiarização, mas algumas informações indesejáveis, em alguns casos, ainda permanecem.

A segunda etapa foi criar a função de reconstrução por erosão da imagem gerada na primeira etapa. Isso é possível aplicando-se a operação de erosão na imagem marcadora com elemento estruturante isotrópico (máscara cheia), e em seguida fazendo a união desse resultado com a imagem gerada na primeira etapa. O processo é iterativo e o número de iterações é estabelecido pelo usuário.

Na função dos mínimos impostos, os parâmetros de entrada são a imagem original ou tratada, a imagem marcadora e o número de iterações.

Por fim, as imagens resultantes da aplicação com o operador de mínimos impostos foram utilizadas como imagens de marcadores no processo de segmentação. A função de segmentação *watershed* já existente na caixa de ferramentas da morfologia matemática, tem como parâmetros de entrada, a imagem original, a imagem de marcadores e o elemento estruturante escolhido.

4. RESULTADOS

Os primeiros testes realizados foram feitos com os operadores básicos erosão e dilatação e utilizaram uma parte da imagem do aeroporto Galeão. Testes com os operadores existentes na *toolbox* de morfologia correspondentes também foram realizados, com o intuito de verificar as diferenças entre os resultados e o desempenho da implementação. A figura 5 ilustra a imagem correspondente a região do aeroporto Galeão utilizada como imagem de entrada (imagem original). A figura 6a e 6b, apresentam, respectivamente, o resultado do teste feito com o operador erosão implementado e o resultado do operador erosão da *toolbox*. A figura 7 ilustra o ambiente MATLAB com a aplicação das rotinas relacionadas às operações de erosão citadas anteriormente e a imagem diferença entre as imagens resultantes. O elemento estruturante utilizado foi de dimensão 3x3 na forma de “cruz”.

FIGURA 5 - IMAGEM ORIGINAL CORRESPONDENTE A UMA PARTE DO AEROPORTO GALEÃO.



FIGURA 6 - IMAGEM RESULTANTE DA EROSIÃO IMPLEMENTADA (a), E IMAGEM RESULTANTE DA EROSIÃO DA *TOOLBOX* (b).



(a)



(b)

FIGURA 7 - TELA DO AMBIENTE MATLAB COM FUNÇÃO DE EROSIÃO IMPLEMENTADA E FUNÇÃO DA EROSIÃO DA *TOOLBOX*.

```
> b = mmero(a,mmsecross);
> c = ero(a,'cruz', 3);
> d = mmsubm(c,d);
> mmshow(d);
```

```
MATLAB Command Window
File Edit View Window Help
>> b = mmero(a,mmsecross);
>> c = ero(a,'cruz',3);
>> d = mmsubm(c,b);
>> mmshow(d);
>> d
d =
Columns 1 through 12
  0  0  11  2  0  0  3  0  12
  0  0  0  0  0  0  0  0  0
  0  0  0  0  0  0  0  0  0
  0  0  0  0  0  0  0  0  0
  0  0  0  0  0  0  0  0  0
  0  0  0  0  0  0  0  0  0
  0  0  0  0  0  0  0  0  0
  0  0  0  0  0  0  0  0  0
  0  0  0  0  0  0  0  0  0
  0  0  0  0  0  0  0  0  0
  0  0  0  0  0  0  0  0  0
  3  0  0  0  0  0  0  0  0
  2  0  0  0  0  0  0  0  0
  0  0  0  0  0  0  0  0  0
  2  0  0  0  0  0  0  0  0
  0  0  0  0  0  0  0  0  0
  0  0  0  0  0  0  0  0  0
  0  0  0  0  0  0  0  0  0
  3  0  0  0  0  0  0  0  0
```

Figure No. 1

Percebe-se a partir das figuras 6a e 6b, que os resultados das imagens apresentam-se iguais visualmente. Tal fato pode ser observado na cena com relação ao tamanho e a forma dos objetos, e de modo geral pelos valores de brilho da cena. No entanto, esse fato não pode ser comprovado apenas por uma análise visual, sendo necessário utilizar outros critérios de análise. A forma adotada para realizar tal comparação foi através de dados numéricos, os quais apresentam-se na figura 7.

A figura 7 ilustra o ambiente MATLAB com as linhas de comando da aplicação da função de erosão morfológica da *toolbox*, tendo como imagem resultante final a imagem erodida “b”, a aplicação da operação de erosão implementada, resultando na imagem final erodida “c”. Na terceira linha de comando é realizada a operação de subtração das imagens resultantes “b” e “c”, representada pela imagem diferença “d”. O comando *mmshow(d)* foi utilizado para mostrar a imagem “d”, a qual aparece ilustrada no lado direito da imagem. Por fim foi digitada a letra “d” correspondente a imagem diferença, para mostrar na tela sua representação numérica.

Visualmente a imagem “d” parece ser nula, visto que apresenta níveis de cinza escuros, e apenas nas bordas dessa imagem pode-se perceber valores de brilho diferentes de zero. Como no caso das figuras 6a e 6b, esse fato não pode ser garantido apenas através da análise visual, pois podem existir informações com níveis de cinza muito baixos, mas diferentes de zero, não sendo distinguíveis pelo olho humano. Porém, verificando os dados numéricos da imagem diferença (“d”) ilustrados na figura 7, que apresentam valores zeros, pode-se afirmar que a imagem “d” é realmente nula, exceto nas bordas da imagem. Logo, as imagens resultantes “b” e “c” são iguais, com exceção dos limites.

A diferença observada nos limites da imagem “d” pode estar relacionada ao algoritmo de reconstrução de contorno das imagens, que neste trabalho utilizou o critério de repetição dos valores de brilho das últimas linhas e colunas da cena. Como é desconhecido o critério usado na implementação das rotinas contidas na *toolbox*, acredita-se que esse pode ser o motivo na diferença encontrada.

Contudo, além das diferenças encontradas nas bordas da imagem, os resultados mostraram que o operador implementado forneceu resultados satisfatórios no que concerne aos resultados obtidos quando comparados com os da *toolbox*.

De forma análoga, outros testes foram realizados com relação ao operador dilatação e gradiente por dilatação e erosão, com elementos de formas e tamanhos diferentes, e como no caso da erosão os resultados apresentaram-se iguais aos operadores correspondentes da *toolbox*.

Os testes iniciais utilizando a função de segmentação *watershed* realizados com a abordagem dos mínimos impostos, foram feitos com a imagem orbital do aeroporto Antonio Carlos Jobim, a qual é ilustrada na figura 8.

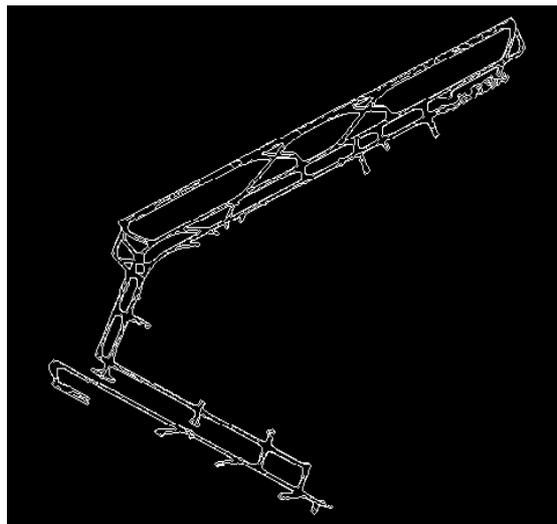
FIGURA 8 - IMAGEM CORRESPONDENTE A REGIÃO DO AEROPORTO ANTÔNIO CARLOS JOBIM.



O primeiro teste realizado com a função do operador watershed utilizou como imagem marcadora a melhor imagem resultante da aplicação da técnica de mínimos impostos. A aplicação do operador mínimos impostos, utilizou como parâmetros de entrada, a imagem original, a imagem limiarizada pré-processada a partir de operadores de filtragem morfológicos e 3 iterações.

A função *watershed*, teve com parâmetros de entrada: imagem original, imagem marcadora resultante da operação de mínimos impostos, e elemento estruturante cruz 3x3. A figura 9 apresenta o resultado deste teste.

FIGURA 9 - IMAGEM RESULTANTE DO OPERADOR *WATERSHED* COM IMAGEM ORIGINAL, IMAGEM MARCADORA E ELEMENTO ESTRUTURANTE 3X3 CRUZ .

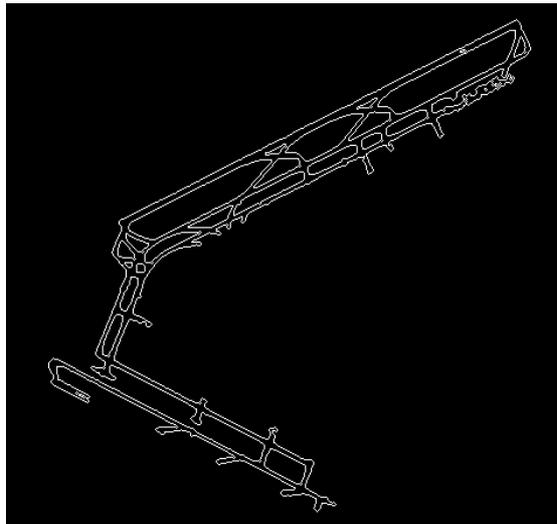


O resultado da figura 9 não apresenta-se bom, visto que as pistas possuem excesso de segmentos internos. Por outro lado, apenas a região das pistas foi

extraída, sem nenhuma informação ao seu redor, originada pela ótima qualidade visual da imagem binária utilizada na função de mínimos impostos.

Outro teste foi realizado utilizando a imagem limiarizada, obtida com a técnica de mínimos impostos, como imagem de entrada e imagem marcadora na função *watershed*. O elemento estruturante utilizado na função *watershed* foi o cruz 3x3. A figura 10 ilustra o resultado deste teste.

FIGURA 10 - IMAGEM RESULTANTE DA APLICAÇÃO DO OPERADOR *WATERSHED* COM IMAGEM ORIGINAL E IMAGEM MARCADORA, RESULTANTE DOS MÍNIMOS IMPOSTOS IMPLEMENTADO.



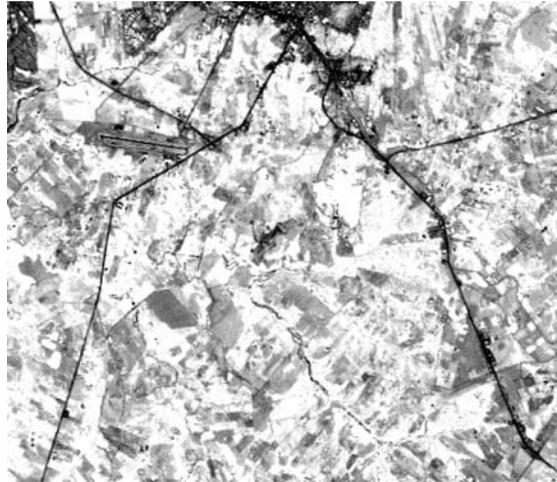
Como pode ser observado a partir da figura 10, o resultado apresenta-se muito bom, mostrando somente os trechos das pistas do aeroporto, sem apresentar nenhuma feição irrelevante, ou seja, sem ruídos. A segmentação interna verificada no teste anterior, não ocorreu neste resultado, que se qualifica como o melhor resultado obtido.

Outro teste utilizando a função *watershed* com o operador de mínimos impostos foi realizado a partir da imagem orbital da região de Presidente Prudente como imagem de entrada.

O teste foi realizado com a imagem original pré-processada, a imagem marcadora resultante da aplicação do mínimos impostos e o elemento estruturante 3x3 cruz.

A imagem original apresenta-se ilustrada na figura 11 e o resultado desse teste apresenta-se ilustrado na figura 12.

FIGURA 11- IMAGEM ORBITAL CORRESPONDENTE À REGIÃO DE PRESIDENTE PRUDENTE.

FIGURA 12 - IMAGEM RESULTANTE DO OPERADOR *WATERSHED* COM IMAGEM ORIGINAL TRATADA E IMAGEM MARCADORA RESULTANTE DOS MÍNIMOS IMPOSTOS.

Nota-se na figura 12, que o resultado apresenta-se bom, visto que extraiu todos os trechos das rodovias. Apesar do resultado ser bom, nota-se que o aeroporto não foi capturado, isso decorre do fato dessa feição apresentar-se na imagem original em uma região com valores de brilho muito próximos com os da sua vizinhança, se essas informações são excluídas pelo processo de limiarização, consequentemente a feição do aeroporto também é eliminada. Contudo, todas as rodovias foram capturadas e o resultado não apresenta excesso na segmentação.

5. CONCLUSÕES

A implementação inicial dos operadores erosão e dilatação apresentou resultados similares aos obtidos com o uso dos operadores contidos na *toolbox* de

morfologia, sendo este um fator positivo para a implementação dos operadores utilizados na abordagem tratada neste trabalho. Essa comprovação pôde ser verificada através de dados visuais e dados numéricos das imagens.

Com relação aos resultados obtidos com o operador *watershed* em conjunto com o operador de mínimos impostos, verificou-se que os mesmos apresentaram-se muito interessantes e significativos, capturando praticamente apenas as feições de interesse, sem excesso na segmentação. O potencial desse operador pode ser atribuído, em parte, pela boa qualidade visual das imagens binárias utilizadas.

É importante ressaltar que, com o pré-processamento da imagem original (“bruta”), a partir dos operadores utilizados, os resultados obtidos foram melhorados.

O potencial do uso das ferramentas da Morfologia Matemática foi confirmado, através da análise dos resultados obtidos e da avaliação do desempenho dos operadores implementados. Assim, a segmentação morfológica poderá ser usada como um método alternativo na extração semi-automática de feições para tarefas de identificação de alvos ou com vistas à atualização de produtos cartográficos.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

FACON, J. **Morfologia matemática: Teoria e Aplicações**. Curitiba: Editora Universitária Champagnat da Pontífica. Universidade Católica do Paraná, 1996. 320p.

MEYER, F.; BEUCHER, S. The morphological approach to segmentation: the watershed transformation. In Dougherty, E. R. **Mathematical Morphology in Image Processing**. Marcel Dekker, New York, 1993. p 433-481.

PRÉTEUX, F. On a distance function approach for grey-level mathematical morphology. In Dougherty E.R. **Mathematical Morphology in Image Processing**. Marcel Dekker, New York, 1993. p. 323-351.

SOILLE, P. **Morphological Image Analysis - Principles and Applications**. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 1999. 316p.

GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E. **Processamento de Imagens Digitais**, Editora Edgard Blücher Ltda, 2000.508p.

UNICAMP. **Segmentação Morfológica**. Disponível em: www.dcc.unicamp.br/~cpg/material-didatico/mo815/9802/curso/node61-html >. Acesso em: 10 de dezembro de 2002.

7. AGRADECIMENTOS

Agradecemos imensamente à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo auxílio financeiro destinado a este trabalho sob a forma de bolsa de demanda social.

III CBCG
Colóquio Brasileiro
de Ciências Geodésicas
III Brazilian Colloquium on Geodetic Science

GEODÉSIA
E
LEVANTAMENTOS

MONITORAMENTO GEODÉSICO DE MOVIMENTOS DA CROSTA NA REGIÃO DA USINA HIDRELÉTRICA DE SALTO CAXIAS UTILIZANDO O GPS

Niel Nascimento Teixeira¹
Luiz Danilo Damasceno Ferreira²

- 1 Universidade Federal do Paraná – nielnt@geoc.ufpr.br
2 Universidade Federal do Paraná – daniilo@geoc.ufpr.br

RESUMO

A Companhia Paranaense de Energia Elétrica construiu uma série de barragens de usinas hidrelétricas ao longo do Rio Iguaçu. A última construída foi a Barragem de Salto Caxias. Sendo esta de concreto com 67m de altura, inundou uma área de 131km², que corresponde a um volume de 3.6x10⁹m³. Após o enchimento da barragem, uma rede de 87 pontos foi implantada envolta da área inundada. Coletou-se sobre esta rede dados de gravimetria, nivelamento geodésico e GPS em duas campanhas distintas, antes e após o enchimento da barragem. Este trabalho descreve o projeto e implantação da referida rede e algumas características da região da barragem. No entanto, ênfase é dada ao processamento e análise dos dados GPS coletados.

Palavras-chave: Monitoramento Geodésico, Barragens, deslocamentos.

ABSTRACT

The Electricity Company of the Paraná State, has built a series of hidroelectric power dams along the Iguaçu River. The last one which was built is Salto Caxias dam, a 67m concrete heigh dam with ca. 131km² flooded area that correspond a volume of 3.6x10⁹m³. Before the dams filling a monitoring network of 87 points was implemented around the flooded area. Gravimeter, geodetic levelling and GPS surveyings were carried out over these points of the network for both campaigns, before and after the dams filling. This paper describes the design and implementation of the network and shows some characteristics of the dams region. However, emphasis is given to the processing and analysis of the GPS data.

Keywords: Geodetic monitoring, Dams, Displacements.

1. INTRODUÇÃO

A formação de grandes reservatórios nas Barragens de Usinas Hidrelétricas (UHE) pode induzir a deformações crustais, bem como, ocasionar sismos em regiões anteriormente assísmicas. Este fenômeno é conhecido como Simicidade Induzida por Reservatórios (SIR). A formação de um novo reservatório artificial altera as condições estáticas das formações rochosas do ponto de vista mecânico (em virtude do próprio peso da massa da água), e do ponto de vista hidráulico (em consequência da infiltração do fluido na subsuperfície, que causa pressões internas nas camadas rochosas profundas). A combinação destas duas ações pode desencadear distúrbios tectônicos e, eventualmente, gerar sismos, caso as condições locais sejam propícias. Há décadas atrás acreditava-se que os reservatórios artificiais só podiam gerar sismos de pequena magnitude, associados exclusivamente ao peso da água neles contidas. No entanto, a literatura tem mostrado inúmeros exemplos de terremotos, alguns catastróficos, associados com a formação de grandes reservatórios em barragens de UHE.

Deste modo, o monitoramento geodésico de movimentos da crosta constitui uma importante etapa dos programas de predição de terremotos. Todavia, o principal questionamento destes programas, com respeito ao SIR, é se os terremotos que ocorrem nas proximidades dos grandes reservatórios são causados pelo aumento da pressão dos fluídos e/ou do peso da massa d'água. Sendo assim, os levantamentos geodésicos realizados antes e após o enchimento de reservatórios artificiais, podem ajudar a responder esta questão, o que já tem sido feito em várias partes do mundo.

No Brasil, iniciativas como esta têm sido executadas, por meio de convênio entre a Universidade Federal do Paraná (UFPR), através do Laboratório de Aferição e Instrumentação Geodésica (LAIG) e o Laboratório de Geodésia Espacial (LAGE), e a Companhia Paranaense de Energia Elétrica (COPEL), a qual construiu uma série de UHE ao longo do Rio Iguaçu. Assim, este convênio permitiu a realização de monitoramento geodésico de movimentos da crosta na região de algumas destas usinas, onde foram utilizados dados de Nivelamento, Gravimetria e do Global Positioning System (GPS). Atualmente, estes dois laboratórios tem concentrado inumeráveis esforços para monitorar a região da UHE de Salto Caxias, também situada no Rio Iguaçu, no município de Capitão Leônidas Marques, a 600 km de Curitiba. O projeto de monitoramento geodésico de movimentos da crosta na região da UHE de Salto Caxias surgiu, principalmente, pelo fato dela ser a maior Barragem de Concreto Compactado a Rolo (CCR) da América do Sul, a 8ª Barragem em volume d'água no mundo, e possuir 67m de altura, sendo a terceira maior usina da COPEL, menor apenas que as de Foz do Areia e Salto Segredo. Tais características permitem o desencadeamento de um processo sismogênico na região da Barragem.

Deste modo, iniciou-se este projeto baseado em duas épocas distintas: antes e após o enchimento do reservatório. A primeira campanha de levantamento, antes do

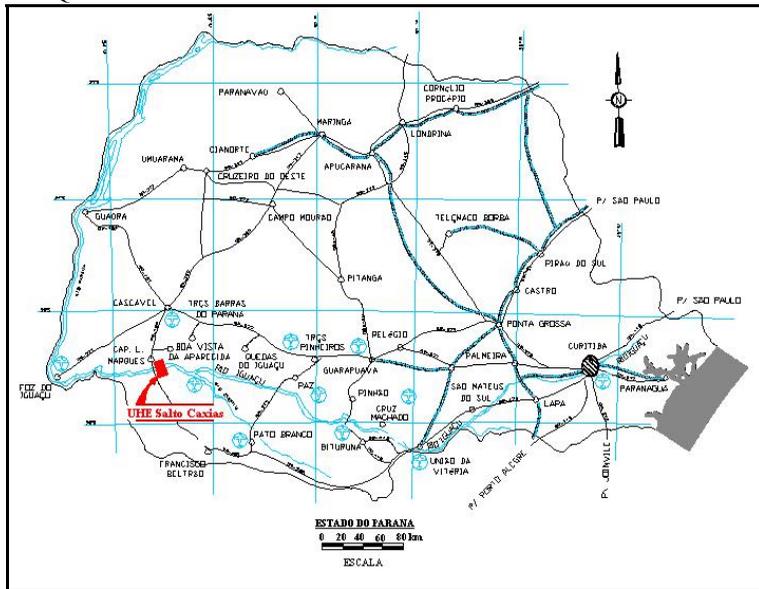
enchimento do reservatório, ocorreu no mês de agosto de 1998, e a segunda campanha, após o enchimento do reservatório, ocorreu no mês de dezembro de 2002. Em ambas as campanhas, coletou-se dados de Nivelamento e GPS. No entanto, somente dados GPS serão utilizados neste trabalho. Deste modo, este trabalho tem como objetivos: a) apresentar os procedimentos utilizados para a execução dos levantamentos GPS da 1ª e 2ª campanha; b) apresentar as principais características da barragem, que podem contribuir significativamente no processo de desencadeamento de processos sismogênicos; e c) apresentar as coordenadas dos Pontos de Apoio e Pontos de Controle, resultantes do processamento dos dados GPS, bem como, seus desvios padrão.

2. ÁREA DE ESTUDO E LEVANTAMENTO DE CAMPO

2.1 USINA HIDRELÉTRICA SALTO CAXIAS

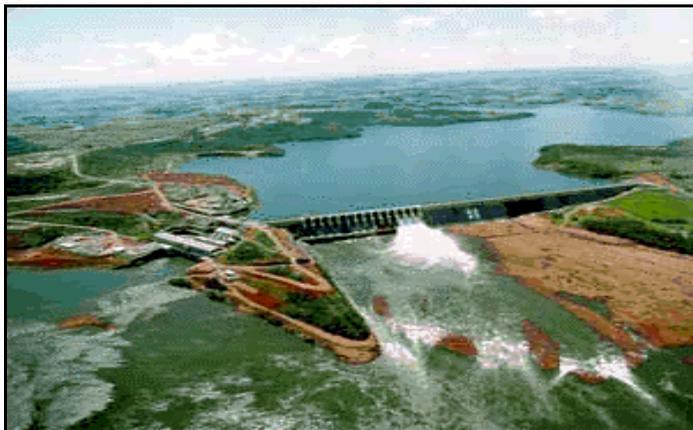
A Usina Hidrelétrica Salto Caxias é uma das mais importantes da COPEL Geração, pois é a terceira maior usina, menor apenas que as de Foz do Areia e Segredo. Está situada no Rio Iguaçu, no município de Capitão Leônidas Marques, a 600 km de Curitiba. Estudos iniciais previram a construção de duas usinas: Salto Caxias Baixo e Cruzeiro. Contudo, em 1978, a COPEL realizou uma reavaliação, concluindo ser economicamente mais vantajoso o aproveitamento do trecho Salto Osório – Salto Caxias em uma única usina - Salto Caxias Alto, englobando o projeto Cruzeiro e eliminando a Usina Júlio de Mesquita Filho, na foz do Rio Chopim. Depois de muitos estudos, as obras de construção da Usina se iniciaram em 1995 e ela começou a operar em 1999. A figura 2 mostra o mapa do estado do Paraná com a localização da cidade de Capitão Leônidas Marques e a UHE de Salto Caxias.

FIGURA 2 – LOCALIZAÇÃO DA CIDADE DE CAPITÃO LEÔNIDAS MARQUES E DA UHE DE SALTO CAXIAS NO MAPA DO PARANÁ



A Figura 3 mostra a vista panorâmica da Barragem de Salto Caxias.

FIGURA 3 – VISTA PANORÂMICA DA BARRAGEM DE SALTO CAXIAS



2.2 PONTOS DE APOIO, DE CONTROLE E RRNN

Inicialmente, foram projetados, pela COPEL 97 RRNN, sendo que destas, quatro seriam selecionadas para servirem aos propósitos de Pontos de Apoio (PA), e outras dez para Pontos de Controle (PC). No entanto, deste contingente, implantou-se apenas 87 RRNN, selecionando-se destas, três PA e dez PC, conforme projeto inicial.

O projeto de Auscultação Geodésica da região da UHE de Salto Caxias previu a utilização de dados de nivelamento geométrico, gravimetria e GPS. Deste modo, tendo em vista o alto custo das operações de campo envolvido, principalmente em um nivelamento geométrico, adotou-se uma sistemática conveniente quanto a este aspecto, e que também facilitasse as operações de campo. Por isso, as RRNN foram implantadas ao longo da rede viária local, distribuídas em oito trechos:

- Trecho 01: Santa Lúcia ao trevo Boa Vista / Capitão Leônidas Marques;
- Trecho 02: trevo Boa Vista / Capitão Leônidas ao trevo Salto Caxias;
- Trecho 03: trevo Salto Caxias à Boa Vista da Aparecida;
- Trecho 04: Boa Vista da Aparecida ao Porto Pereira;
- Trecho 05: trevo Salto Caxias à Boa Vista da Aparecida;
- Trecho 06: Barragem de Salto Caxias à Nova Prata do Iguçu;
- Trecho 07: Nova Prata do Iguçu à Vorá;
- Trecho 08: trevo Porto Alegria / Nova Prata do Iguçu ao Porto Pereira.

2.2.1 Monumentação e Identificação dos Pontos

Distribuídos em um quadrilátero de aproximadamente 35x35km, todos os pontos foram monumentados de forma a facilitar sua identificação e atender as exigências de estabilidade, acesso, intervisibilidade (se for o caso), dimensões específicas, etc.

2.2.1.1 Monumentação

Para implantação das RRNN seguiu-se as mesmas especificações técnicas daquelas utilizadas no projeto de auscultação geodésica da região da Barragem de Bento Munhoz da Rocha (GEMAEL, 1983): As RRNN encontram-se espaçadas entre si de aproximadamente 1km, tendo sido concretadas no local apresentando forma tronco-piramidal, de seção quadrada, possuindo base superior de 30x30cm, e inferior de 45x45cm. A base inferior situa-se em geral, cerca de 1m abaixo da superfície; já a superior aflora cerca de 20cm. A figura 3.5 mostra duas RRNN implantadas na região da UHE de Salto Caxias.

FIGURA 3.5 – RRNN IMPLANTADAS NA REGIÃO



As especificações técnicas seguidas na fase de monumentação, se devem ao fato de que as mudanças detectadas (em coordenadas, no caso deste trabalho) dos pontos monitorados, devem ser devidas a deslocamentos sofridos pela estação, sujeita à subsidência, soerguimentos em processos semelhantes, e não devido à monumentação deficiente ou imprópria.

2.3 LEVANTAMENTO DE CAMPO

Com o propósito de atingir os objetivos descritos na seção 1.3 foram realizadas duas campanhas GPS: a primeira campanha ocorreu no período de 5 a 10 de Agosto de 1998, e a segunda no período de 16 a 20 de Dezembro de 2002. Esta etapa é subdividida em duas etapas distintas: o planejamento e a metodologia de campo.

2.3.1 Planejamento

Foram planejadas as realizações de duas campanhas GPS na área de estudo, uma antes do enchimento do reservatório e a outra após. Estes dois conjuntos de dados obtidos serão utilizados na análise da estabilidade dos PA e dos PC, bem como, das demais RRNN.

Nesta etapa, selecionou-se as estações a serem levantadas e a metodologia de campo a ser seguida.

Como mencionado anteriormente, a rede de testes é composta de 87 RRNN. No entanto, das 87 RRNN existentes, selecionou-se apenas 59 RRNN para os levantamentos GPS. Estas foram distribuídas da seguinte forma: três RRNN foram selecionadas como PA e dez RRNN foram selecionadas como PC, as quais situam-se o mais distante possível das áreas de deformação, ou seja, em locais rochosos ou de mínima instabilidade; e as demais RRNN foram selecionadas como estações

relativas ou “Pontos Objetos” pelo fato de situarem-se muito próximos às áreas onde espera-se que ocorra deformações.

2.3.2 Metodologia de Campo

2.3.2.1 Equipamentos utilizados

Para a realização das duas campanhas, foram utilizados equipamentos pertencentes ao Laboratório de Geodésia Espacial (LAGE) da UFPR e da Companhia Paranaense de Energia Elétrica (COPEL). Os equipamentos utilizados foram:

- Quatro receptores ASHTECH Z-XII, com todos os seus acessórios;
- Um receptor TRIMBLE SSI, com todos os seus acessórios;
- Cinco tripés;
- Duas bússolas portáteis;
- Uma fonia portátil (VHF);
- Duas viaturas;
- Oito carregadores de baterias de diversas marcas;
- Microcomputadores Pentium.

2.3.2.2 Técnica de Posicionamento

Na área em estudo, foram realizados rastreios com o método de posicionamento relativo estático e estático rápido. Deste modo, esta etapa dividiu-se em três fases: rastreamento dos PA; rastreamento dos PC; e rastreamento das demais RRNN.

2.3.2.2.1 Rastreamento dos PA

As estações PA01, PA02 e PA03 foram posicionadas em função das estações PARA e UEPP, pertencentes à Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC). Estas duas estações pertencem também à Rede do Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS).

Os três PA foram rastreados utilizando o método de posicionamento relativo estático, com uma duração média de rastreamento de 6 horas. Empregou-se uma taxa de coleta de dados de 15 segundos em virtude da compatibilidade com o intervalo adotado pelo IBGE para as Estações PARA e UEPP, valor este que é atualmente empregado em todas as estações da RBMC. Adotou-se ângulo de elevação de 10 graus para minimizar as degradações advindas da troposfera e do efeito multicaminho.

A tabela 1 mostra o comprimento das linhas de base formadas entre as estações da RBMC e os PA.

TABELA 1 – COMPRIMENTO DAS LINHAS DE BASE

LINHA DE BASE	COMPRIMENTO(km)
PARA-PA01	436,30
PARA-PA02	432,20
PARA-PA03	414,10
UEPP-PA01	425,40
UEPP-PA02	459,00
UEPP-PA03	435,70

2.3.2.2.2 Rastreio dos PC

Os dez PC foram rastreados utilizando o método de posicionamento relativo estático, com uma duração média de rastreio de 3 horas, taxa de coleta de dados de 15 segundos e ângulo de elevação mínimo de 10 graus.

Os PC foram posicionados em função das Estações PA01, PA02 e PA03. Na tabela 2 e 3 estão indicados os comprimentos das linhas de base formadas entre os PA e os PC na primeira e segunda campanha, respectivamente.

TABELA 2 – COMPRIMENTO DAS LINHAS DE BASE FORMADAS
PRIMEIRA CAMPANHA

LINHA DE BASE	COMP. (km)	LINHA DE BASE	COMP. (km)
PA01-P207	11,3	PA02- P611	24,4
PA01-P403	18,7	PA02- P506	28,0
PA01-P712	30,9	PA03- P207	23,1
PA01-P611	23,3	PA03- P403	18,0
PA01-P506	15,3	PA03- P712	8,6
PA01-P109	7,2	PA03- P109	29,6
PA01-P318	16,4	PA03- P318	21,9
PA01-P807	24,2	PA03- P807	9,2
PA01-P310	10,6	PA03- P310	23,8
PA01-P615	26,7	PA03- P615	6,5

TABELA 3 – COMPRIMENTO DAS LINHAS DE BASE FORMADAS SEGUNDA CAMPANHA

LINHA DE BASE	COMP. (km)	LINHA DE BASE	COMP. (km)
PA01- P207	11,3	PA02- P611	24,4
PA01- P403	18,7	PA02- P506	28,0
PA01- P611	23,3	PA02- P807	28,5
PA01- P506	15,3	PA02- P207	31,02
PA01- P109	7,2	PA02- P318	39,90
PA01- P318	16,4	PA02- P310	37,92
PA01- P807	24,2	PA02- P615	25,12
PA01- P310	10,6	PA03- P403	18,0
PA01- P615	26,7	PA03- P109	29,6

2.3.2.2.3 Rastreio das demais RRNN

As 46 RRNN foram rastreadas utilizando o método de posicionamento relativo estático rápido, com uma duração média de rastreio de 15 minutos, taxa de coleta de dados de 15 segundos e ângulo de elevação de 10 graus.

Estas RRNN foram posicionadas em função dos seguintes PC: P207, P318 e P611. No entanto, estes dados não serão analisados neste trabalho.

Nas três fases descritas anteriormente, cada estação ocupada era devidamente centrada, nivelada e orientada para o norte magnético. Em cada uma delas foram realizadas no mínimo três medidas de altura da antena em diferentes posições, tendo como altura final, a média aritmética destas medidas.

A cada dia de trabalho, os dados coletados eram descarregados diretamente em um computador, especificamente em diretórios referentes ao dia de rastreio. Outras informações tais como: altura da antena, nome da estação, início e fim do rastreio também foram armazenados em cadernetas de campo.

3. PROCESSAMENTO DOS DADOS GPS

Os dados GPS coletados foram pós-processados no programa científico – BERNESE, Versão 4.2 – pois este permite um tratamento mais refinado quanto ao processamento de linhas de base, bem como, contempla a possibilidade de se traçar estratégias, seja na utilização de modelos troposféricos ou na aplicação de modelagens para resolução de ambigüidades (BEUTLER et al., 2001). Neste trabalho dar-se-á ênfase aos dados relativos aos PA e PC (1^a e 2^a campanha).

As linhas de base formadas, conforme pode ser vistas por meio das tabelas 1, 2 e 3 tiveram as ambigüidades resolvidas e fixadas, exceto as linhas base formadas pela estação P403. Os gráficos 1 e 2 mostram os desvios padrão das coordenadas X,

Y, Z das linhas de base processadas referentes a 1ª e a 2ª campanha, respectivamente.

GRÁFICO 1 – DESVIOS PADRÃO DAS COORDENADAS X, Y, Z DAS LINHAS DE BASE PROCESSADAS (1ª CAMPANHA)

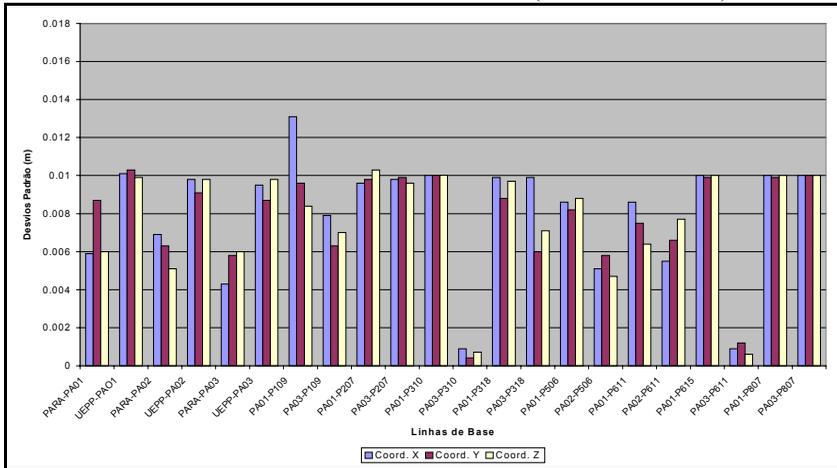
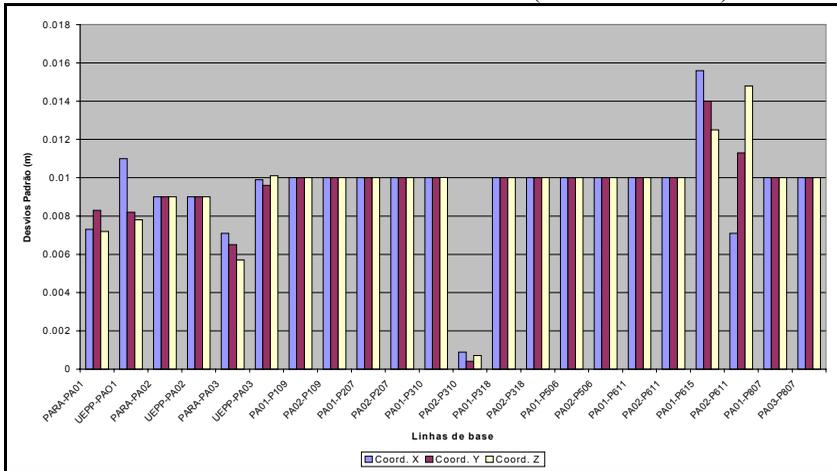


GRÁFICO 1 – DESVIOS PADRÃO DAS COORDENADAS X, Y, Z DAS LINHAS DE BASE PROCESSADAS (2ª CAMPANHA)



Por meio dos gráficos 1 e 2 observa-se que:

- os melhores resultados em termos de precisão foram aqueles advindos do processamento das linhas de base da 1ª campanha;
- a maioria dos desvios padrão da 1ª campanha foram menores do que 1cm;
- a maioria dos desvios padrão da 2ª campanha ficaram em torno de 1cm;
- existem, isoladamente, algumas melhoras da precisão das coordenadas da 2ª campanha com respeito a 1ª campanha, como por exemplo, coordenadas Y, Z da linha de base UEPP-PA01, coordenadas X, Y, Z da linha de base UEPP-PA02 e coordenada X da linha de base PA01-P109.

Nas tabelas 4 e 5, observam-se as coordenadas cartesianas geocêntricas dos PA, referentes a 1ª e 2ª campanha, respectivamente.

TABELA 4 – COORDENADAS CARTESIANAS GEOCÊNTRICAS
(1ª CAMPANHA)

EST.	X (m)	Y (m)	Z (m)
PA01	3.423.787,8396	-4.638.426,1978	-2.720.122,6810
PA02	3.417.101,4381	-4.620.998,9114	-2.757.742,8042
PA03	3.435.437,4340	-4.616.785,6084	-2.742.149,2180
P109	3.420.644,1034	-4.636.988,2596	-2.726.429,3775
P207	3.423.897,3269	-4.632.493,0969	-2.729.755,9187
P310	3.430.646,4993	-4.631.160,0851	-2.723.822,8721
P318	3.435.835,0631	-4.627.718,1258	-2.723.175,3097
P506	3.425.636,8185	-4.629.678,1164	-2.732.523,2040
P611	3.430.854,5278	-4.623.364,5159	-2.736.448,3819
P615	3.432.874,9588	-4.621.042,5817	-2.738.195,5878
P807	3.433.989,8050	-4.622.128,7452	-2.734.783,7281

TABELA 5 – COORDENADAS CARTESIANAS GEOCÊNTRICAS
(2ª CAMPANHA)

EST.	X (m)	Y (m)	Z (m)
PA01	3.423.787,8270	-4.638.426,1741	-2.720.122,6768
PA02	3.417.101,3883	-4.620.998,8864	-2.757.742,7814
PA03	3.435.437,4296	-4.616.785,6040	-2.742.149,2152
P109	3.420.644,1257	-4.636.988,2567	-2.726.429,3790
P207	3.423.897,3602	-4.632.493,0622	-2.729.755,9267
P310	3.430.646,5726	-4.631.160,1538	-2.723.822,9279
P318	3.435.835,0923	-4.627.718,0815	-2.723.175,3093
P506	3.425.636,8304	-4.629.678,0992	-2.732.523,1976
P611	3.430.854,5189	-4.623.364,5087	-2.736.448,3749
P615	3.432.874,9315	-4.621.042,5659	-2.738.195,5835
P807	3.433.989,7951	-4.622.128,7498	-2.734.783,7330

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Abordou-se neste trabalho a fase inicial do projeto de monitoramento geodésico de movimentos da crosta na região da UHE de Salto Caxias. Deste modo, apresentou-se os procedimentos utilizados para a execução dos levantamentos GPS da 1ª e 2ª campanha, na referida UHE, bem como, as principais características da barragem, que podem contribuir significativamente no processo de desencadeamento de processos sismogênicos. E por último, apresentou-se as coordenadas dos PA e PC, bem como, seus desvios padrão, resultantes do processamento das linhas de base formadas.

As linhas de base processadas obtiveram precisão de ordem milimétrica e centimétrica (gráficos 1 e2), sendo que os melhores resultados em termos de precisão foram aqueles advindos do processamento das linhas de base da 1ª campanha. No entanto, observa-se que existem, isoladamente, algumas melhoras da precisão das coordenadas da 2ª campanha com respeito a 1ª campanha, como por exemplo, coordenadas Y, Z da linha de base UEPP-PA01, coordenadas X, Y, Z da linha de base UEPP-PA02 e coordenada X da linha de base PA01-P109.

É válido lembrar que os desvios padrão das linhas de base formadas entre as estações da RBMC (PARA e UEPP) e os PA são muito satisfatórios, tendo em vista que os seus comprimentos são maiores do que 400km.

A segunda fase deste projeto, será a análise da estabilidade dos PA e PC. E por último, analisar-se-á possíveis movimentos da crosta na região da UHE de Salto Caxias por meio das 46 RRNN restantes.

5 REFERÊNCIAS

BEUTLER, G.; BOCK, H.; BROCKMANN, E.; DACH, R.; FRIDEZ, P.; GURTNER, W.; HUGENTOBLER, D.; JOHNSON, J.; MEINDL, M.; MERVART, L.; ROTACHER, M.; SCHAER, S.; SPRINGER, T.; WEBER, R. **Bernese GPS Software – Version 4.2**. Astronomical Institute, University Of Berne. Switzerland. 2001.

GEMAEL, C. **Vertical Crustal Deformations Near Large Dams**. XVIII General Assembly, International Union of Geodesy and Geophysics, Hamburg. 1983.

PERTURBAÇÃO EM UM SATÉLITE GEOSTACIONÁRIO DEVIDO AOS COEFICIENTES RESSONANTES DO CAMPO GRAVITACIONAL TERRESTRE.

Luiz Danilo Damasceno Ferreira

Universidade Federal do Paraná – danilo@geoc.ufpr.br

RESUMO.

Um satélite que tem órbita circular, equatorial, período igual ao da rotação da Terra e permanece fixo em relação a ela, é denominado de geoestacionário. As principais perturbações que atuam sobre ele são devidas ao campo gravitacional terrestre, atração gravitacional do Sol e da Lua e a pressão de radiação solar. Neste artigo, é analisada aquela devida aos coeficientes ressonantes do geopotencial que representam a elipticidade equatorial, a qual causa a libração em longitude do satélite.

Palavras-chave: Geoestacionário; Perturbações; Libração

ABSTRACT

A satellite in a circular equatorial orbit with a period of 24 sidereal hours would remain stationary relative to the Earth, is called of geostationary. The principal perturbations on the satellite are due to the Earth's gravitational potential, the Sun and Moon gravitational forces and the solar radiation forces. In this paper, is analysed that due to the resonants coefficients that represents the ellipticity of the equator that leads to a libration in longitude of the satellite.

Keywords: Geoestacionary; Perturbations; Libration

1. INTRODUÇÃO.

Um satélite que tem órbita circular, equatorial, período igual ao da rotação da Terra e permanece fixo em relação a ela, é denominado de geostacionário. Dentro dessa categoria encontram-se os satélites de comunicações.

A altura do satélite geostacionário é de aproximadamente 35785 km e as principais perturbações que atuam sobre a sua órbita são devidas ao campo gravitacional da Terra (geopotencial), à atração gravitacional do Sol e da Lua e à pressão de radiação solar. Destas perturbações, é analisada aquela devida aos coeficientes ressonantes do geopotencial que representam a elipticidade equatorial, a qual causa a libração em longitude do satélite em torno de pontos de equilíbrio estável os quais estão sobre a linha correspondente ao semi-eixo menor do elipsóide equatorial. As outras perturbações, embora importantes, não serão aqui discutidas.

2. POTENCIAL PERTURBADOR.

No estudo analítico das perturbações gravitacionais que atuam sobre um satélite artificial, é necessário ter o seu potencial perturbador em função dos elementos orbitais, o qual inicialmente, escreve-se na forma (FERREIRA, 1994):

$$R = \frac{\mu}{r} \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{m=0}^n \left(\frac{a_e}{a} \right)^n (C_{n,m} \cos m\lambda + S_{n,m} \sin m\lambda) P_{n,m}(\sin \Phi), \quad (01)$$

onde $\mu = GM$ é a constante geocêntrica, r o módulo do raio vetor do satélite, a_e o semi-eixo maior do elipsóide adotado, a o semi-eixo maior da órbita, $C_{n,m}$, $S_{n,m}$ os coeficientes dos harmônicos esféricos, $P_{n,m}$ a função associada de Legendre, Φ e λ a latitude e longitude geocêntrica do satélite, n, m o grau e a ordem, respectivamente e $n \geq m$.

As transformações que colocam a equação 01 em função dos elementos orbitais são complexas e podem ser encontradas em (KAULA, 1966), (GIACAGLIA, 1979), (SILVA e FERREIRA, 1984) e (SEEBER, 1993).

Então, após sucessivas transformações algébricas a equação 01, torna-se:

$$R_{n,m,p,q} = \frac{\mu}{a} \sum_{n=2}^{\infty} \sum_{m=0}^n \left(\frac{a_e}{a} \right)^n \sum_{p=0}^n F_{n,m,p,q}(i) \sum_{q=-\infty}^{\infty} G_{n,p,q}(e) S_{n,m,p,q}(\omega, \Omega, M, \theta), \quad (02)$$

onde $F_{n,m,p,q}(i)$ é a função da inclinação, $G_{n,p,q}(e)$ é a função da excentricidade, i é a inclinação da órbita, e a excentricidade da órbita, Ω a longitude do nodo ascendente, ω o argumento do perigeu, M a anomalia média e θ o tempo sideral aparente de Greenwich. A função $S_{n,m,p,q}(\omega + \Omega + M + \theta)$ é dada por:

$$S_{n,m,p,q}(\omega, \Omega, M, \theta) = \left[\begin{array}{c} \left(\begin{array}{c} C_{n,m} \\ -S_{n,m} \end{array} \right) \cos A + \left(\begin{array}{c} S_{n,m} \\ C_{n,m} \end{array} \right) \sin A \end{array} \right]_{n-m, \text{impar}}^{n-m, \text{par}}, \quad (03)$$

sendo A definido por:

$$A = (n - 2p)\omega + (n - 2p + q)M + m(\Omega - \theta). \quad (04)$$

Tanto as funções da inclinação como as da excentricidade são apresentadas em forma de tabelas (KAULA, 1966) ou adaptadas para o uso em computador.

3. RESSONÂNCIA EM SATÉLITES GEOESTACIONÁRIOS

A ressonância ocorre quando o período de revolução de um satélite é um múltiplo inteiro do período de rotação da Terra, levando a uma amplificação de certos coeficientes dos harmônicos $C_{n,m}$ e $S_{n,m}$, resultando em uma perturbação nos elementos orbitais maior do que o normal. Deste modo, um satélite com aproximadamente m revoluções/dia, estará sensivelmente afetado pela ressonância.

Os fenômenos de ressonância estão sempre ligados aos pequenos divisores e ocorrem quando:

$$\dot{A} = (n - 2p)\dot{\omega} + (n - 2p + q)\dot{M} + m(\dot{\Omega} - \dot{\theta}_T) \cong 0, \quad (05)$$

onde $\dot{\theta}_T$ é a velocidade de rotação da Terra. Isto pode ser verificado nas equações de Lagrange (planetárias) conforme mostra FERREIRA (1998). No caso de um satélite geostacionário ($i \cong 0^0$), a condição para que haja ressonância é que na equação 05, tenha-se:

$$n - 2p = n - 2p + q = m, \quad (06)$$

então, quando a equação 05, tornar-se:

$$\dot{\omega} + \dot{M} + \dot{\Omega} - \dot{\theta}_T \cong 0, \quad (07)$$

e devido ao fato de que $\dot{\omega}, \dot{\Omega} \ll \dot{\theta}_T$ e $\dot{\theta}_T = 360^0 / \text{dia}$, e portanto $\dot{M} \cong \dot{\theta}_T$, irá ocorrer a ressonância, pois a velocidade de rotação do satélite é aproximadamente igual à da Terra. Portanto, as condições para que haja ressonância em um satélite geostacionário são:

$$q = 0, \quad (08a)$$

$$m \geq 1, \quad (08b)$$

$$n - m \Rightarrow \text{par}, \quad (08c)$$

$$n - 2p = n - 2p + q = m, \quad (08d)$$

$$p = \left[\frac{n - m}{2} \right]_{\text{inteiro}}. \quad (08e)$$

O quadro 01 mostra alguns coeficientes harmônicos, obtidos pelas condições de ressonância apresentadas anteriormente.

QUADRO 01- EXEMPLO DE COEFICIENTES RESSONANTES

n	M	n-m	P	Ressonante	harmônico
2	1	1	0	Não	$C_{2,1}, S_{2,1}$
2	2	0	0	Sim	$C_{2,2}, S_{2,2}$
3	1	2	1	Sim	$C_{3,3}, S_{3,3}$
3	2	1	0	Não	$C_{3,2}, S_{3,2}$

4. LIBRAÇÃO DE SATÉLITES GEOESTACIONÁRIOS

Sabe-se que os coeficientes dos harmônicos ressonantes perturbam a órbita de um satélite geostacionário e a maneira de se observar esta perturbação é por meio dos elementos orbitais. Então, substituindo na equação 02 as condições de ressonância, tem-se (SILVA e FERREIRA, 1984):

$$R_{n,m,(n-m)/2,0} = \frac{\mu}{a} \left(\frac{a_e}{a} \right)^n F_{n,m,(n-m)/2,0}(i) G_{n,m,(n-m)/2,0}(e).$$

$$\cdot [C_{n,m} \cos m(\omega + M + \Omega - \theta) + S_{n,m} \sin m(\omega + M + \Omega - \theta)], \quad (09)$$

e definindo:

$$\begin{aligned} C_{n,m} &= k_{n,m} \cos m \lambda_{n,m} , \\ S_{n,m} &= k_{n,m} \sen m \lambda_{n,m} , \end{aligned} \quad (10)$$

de modo que $k_{n,m} = (C_{n,m}^2 + S_{n,m}^2)^{1/2}$ e $\lambda_{n,m} = \frac{1}{m} \tan^{-1} \left(\frac{S_{n,m}}{C_{n,m}} \right)$, a equação 09 torna-se:

$$R_{n,m,(n-m)/2,0} = Q_{n,m} \cos m(\omega + M + \Omega - \theta - \lambda_{n,m}), \quad (11)$$

onde,

$$Q_{n,m} = \frac{\mu}{a} \left(\frac{a_e}{a} \right)^n F_{n,m,(n-m)/2,0}(i) G_{n,m,(n-m)/2,0}(e) k_{n,m}. \quad (12)$$

A equação 11 também é conhecida como função perturbadora ressonante e substituindo esta equação nas equações de Lagrange (FERREIRA,1998) é possível verificar como variam os elementos devido à ressonância. Por exemplo, a variação do semi-eixo maior da órbita é obtida da primeira equação de Lagrange, isto é:

$$\frac{da}{dt} = \frac{2}{n_s a} \frac{\partial R_{n,m,(n-m)/2,0}}{\partial M},$$

então,

$$\frac{da}{dt} = -\frac{2m}{n_s a} Q_{n,m} \sen m(\omega + M + \Omega - \theta - \lambda_{n,m}), \quad (13)$$

sendo n_s o movimento angular médio do satélite. E agora chamando $\lambda_A = \omega + M + \Omega$ de longitude astronômica do satélite e tomando-se os coeficientes dos harmônicos ressonantes da tabela 01, $C_{2,2}$ (que representam a elipticidade equatorial), $S_{2,2}$ (quando o eixo principal de inércia da Terra não coincide com o meridiano de Greenwich), a equação 13 torna-se:

$$\frac{da}{dt} = -\frac{4}{n_s a} Q_{2,2} \sen 2(\lambda_A - \theta - \lambda_{2,2}), \quad (14)$$

onde $\lambda_{2,2}$ é a longitude do semi-eixo maior do equador elíptico da Terra, figura 01.

A variação do semi-eixo maior da órbita, equação 14, por sua vez causa uma aceleração na longitude do satélite. Se $i \cong 0^0$, para o satélite geoestacionário, tem-se que:

$$\lambda = \lambda_A - \theta,$$

onde λ é a longitude do satélite. Porém, sabe-se que $\lambda_A = \omega + M + \Omega$, então a equação acima, após sucessivas transformações, pode ser escrita na forma:

$$\ddot{\lambda} = \frac{\partial n_s}{\partial a} \frac{da}{dt}, \quad (15)$$

e finalmente:

$$\ddot{\lambda} = \frac{6}{a^2} Q_{2,2} \text{sen } 2(\lambda - \lambda_{2,2}), \quad (16)$$

mostrando que o satélite tem libração (oscilação) em longitude.

Esta libração ocorre em torno de pontos estáveis e para determiná-los, faz-se a transformação (KAULA, 1966):

$$\lambda = \lambda_{2,2} + \frac{\psi}{2} + N\pi, \quad (17)$$

e substituindo na equação 16, tem-se

$$\ddot{\psi} + \frac{12}{a^2} Q_{2,2} \text{sen } \psi = 0, \quad (18)$$

que é a equação do pêndulo.

Então, quando $\psi = 0$ é um ponto de equilíbrio estável, seus correspondentes, equação 17, são:

$$\lambda_i = \lambda_{2,2} + N \frac{\pi}{2}, \quad i = 1, 2, \dots; \quad N = 1, 3, 5, \quad (19a)$$

e, por exemplo ,para $i = 1, 2$, tem-se que:

$$\lambda_1 = \lambda_{2,2} + \frac{\pi}{2},$$

$$\lambda_2 = \lambda_{2,2} + \frac{3\pi}{2},$$

e quando $\psi = \pi$, é um ponto de equilíbrio instável, seus correspondentes, equação 17, são:

$$\lambda_i = \lambda_{2,2} + N \frac{\pi}{2}, \quad i = 1, 2, \dots; \quad N = 1, 3, 5, \quad (19b)$$

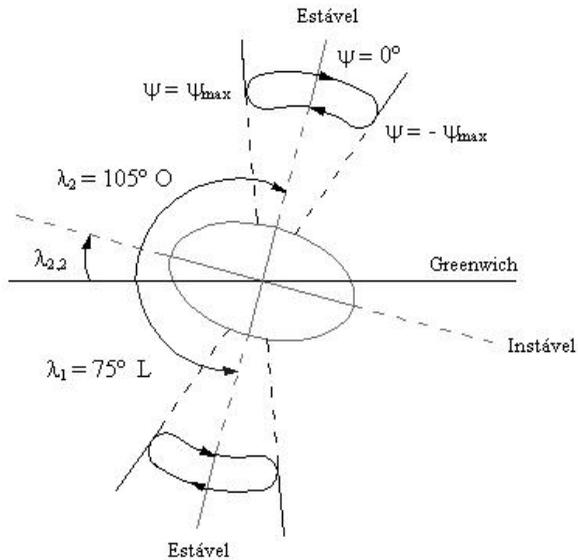
e do mesmo modo que anteriormente, vem que:

$$\lambda_1 = \lambda_{2,2} + \pi,$$

$$\lambda_2 = \lambda_{2,2} + 2\pi.$$

A libração do satélite geostacionário em torno dos pontos de equilíbrio estável em relação ao sistema de coordenadas terrestres, é apresentada na figura 01.

FIGURA 01 LIBRAÇÃO EM LONGITUDE.



O período da libração é determinado através da resolução da equação 16. Introduzindo nesta equação a transformação $\psi = \lambda - \lambda_{2,2} - \frac{\pi}{2}$ e após sucessivas transformações algébricas, tem-se que (KAULA, 1966), (SILVA e FERREIRA, 1984):

$$t = \frac{aK}{(12Q_{2,2})^{1/2}} \int_0^{\psi} \frac{d\psi}{(1 - K^2 \sin^2 \psi)^{1/2}}, \quad (20a)$$

ou então na forma:

$$t = \frac{aK}{(12Q_{2,2})^{1/2}} F(K, \psi), \quad (20b)$$

$$\text{com } K^2 = \frac{1}{\sin^2 \psi_{\max}}.$$

$F(K, \psi)$ é uma integral elíptica incompleta de primeira classe e K um parâmetro que depende de quão está afastado o satélite das condições de equilíbrio e para o presente estudo é adotado $K > 1$, pois o satélite libra em torno da posição de equilíbrio, figura 01.

O ciclo completo da integral elíptica $F(K, \psi)$ é $\frac{4}{K} F\left(\frac{1}{K}, \frac{\pi}{2}\right)$ e a equação 20a torna-se:

$$T = \frac{2a}{(3Q_{2,2})^{1/2}} \int_0^{\psi} \frac{d\psi}{(1 - K^2 \sin^2 \psi)^{1/2}}, \quad (21)$$

ou,

$$T = \frac{2a}{(3Q_{2,2})^{1/2}} F\left(\frac{1}{K}, \frac{\pi}{2}\right). \quad (22)$$

O valor da integral elíptica pode ser obtida de formas alternativas e depende tanto de ψ como de ψ_{\max} . Por exemplo, a solução da equação 21 é resolvida através de métodos numéricos enquanto que a da equação 22 é por meio da utilização de tabelas específicas (ABRAMOWITZ e STEGUN, 1970).

4.1. EXEMPLO

Determinar o período de libração de um satélite geoestacionário, conforme as especificações abaixo relacionadas.

Semi-eixo maior da órbita $\Rightarrow a = 42155$ km.

Inclinação da órbita $\Rightarrow i = 0^0$.

Excentricidade da órbita $\Rightarrow e = 0^0$.

Modelo do geopotencial \Rightarrow GEM -10.

Constante geocêntrica $\Rightarrow GM = 3,9860047 \times 10^{14} \text{ m}^3\text{s}^{-2}$.

Coefficientes dos harmônicos ressonantes $\Rightarrow C_{2,2} = 1,571166064 \times 10^{-6}$.

$$S_{2,2} = -0,903095801 \times 10^{-6}.$$

Determinação da longitude do semi-eixo maior do equador elíptico.

$$\lambda_{n,m} = \frac{1}{m} \tan^{-1} \left(\frac{S_{n,m}}{C_{n,m}} \right)$$

$$\lambda_{2,2} = 15^0 \text{ Oeste} \quad \text{ou} \quad \lambda_{2,2} = 345^0 \text{ Leste.}$$

Determinação dos pontos de equilíbrio estável.

$$\lambda_i = \lambda_{2,2} + N \frac{\pi}{2}$$

$$\lambda_1 = 75^0 \text{ Leste,}$$

$$\lambda_2 = 255^0 \text{ Leste ou } \lambda_2 = 105^0 \text{ Oeste.}$$

Determinação do período de libração.

$$T = \frac{2a}{(3Q_{2,2})^{1/2}} \int_0^{\psi} \frac{d\psi}{(1 - K^2 \sin^2 \psi)^{1/2}}$$

$$Q_{2,2} = \frac{\mu}{a} \left(\frac{a_e}{a} \right)^2 F_{2,2}(i) G_{2,0,0}(e) k_{2,2}$$

$$F_{2,2}(i) = \frac{3}{4} (1 + e \cos i)^2 = 3.$$

$$G_{2,0,0}(e) = 1 - \frac{5e^2}{2} + \frac{13e^4}{16} + \dots = 1$$

$$k_{2,2} = (C_{2,2}^2 + S_{2,2}^2)^{1/2} = 1,81222091 \times 10^{-6}$$

$$Q_{2,2} = 1,176822266 \text{ m}^2\text{s}^{-2}$$

1^o caso:

$$\psi = 5^{\circ},$$

$$\psi_{\max} = 20^{\circ},$$

$$T = 45 \text{ dias.}$$

2^o caso

$$\psi = 50^{\circ}$$

$$\psi_{\max} = 50^{\circ},$$

$$80^{\circ},$$

$$T = 522 \text{ dias.}$$

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A discussão básica deste artigo prende-se ao fenômeno da ressonância devido aos harmônicos esféricos $C_{2,2}$, $S_{2,2}$ e conseqüentemente sua perturbação na órbita de um satélite geoestacionário. Esta perturbação provoca no satélite uma libração em longitude em torno de um de seus pontos de equilíbrio estável os quais estão sobre a linha correspondente do semi-eixo menor do equador elíptico. A amplitude da libração depende da condição inicial que o satélite é injetado na órbita, isto é, $\psi = \psi_0$ e ela terá o máximo quando $\psi = \pm \psi_{\max}$. Se ψ_{\max} for próximo de $\pi/2$, o satélite poderá entrar na região de instabilidade.

O período completo de libração cresce com o aumento da amplitude variando de poucos dias a, por exemplo, aproximadamente dois anos.

No exemplo, a longitude do semi-eixo maior do equador elíptico é de aproximadamente 15° Oeste e os pontos de equilíbrio estável são 75° Leste e 105° Oeste, conforme a figura 01. Desta forma, para o 1° caso o período de libração é em torno de 45 dias enquanto que para o 2° caso é aproximadamente 522 dias. Então, em função destes resultados pode-se verificar que os coeficientes ressonantes $C_{2,2}$ e $S_{2,2}$ causam perturbações no semi-eixo maior da órbita, sendo neste caso a libração em longitude do satélite.

7- REFERÊNCIAS

ABRAMOWITZ, M; STEGUN, I.A. **Handbook of mathematical functions**. 10. th. New York: Dover, 1991.

FERREIRA, L.D.D. **Dinâmica orbital**. Curitiba: Curso de Pós – Graduação em Ciências Geodésicas/UFPR, 1998. Apostila.

GIACAGLIA, G.E.O. **Transformation of spherical harmonics and applications to geodesy and satellite theory**. São José dos Campos: INPE, 1979. RPE-COM-4/RPE.

KAULA, W.M. **Theory of satellite geodesy**. London: Blaisdell, 1966.

SEEBER, G. **Satellite geodesy: foundations, methods and applications**. Berlin: Walter de Gruyter, 1993.

SILVA, W.C.C. da; FERREIRA, L.D.D. **Satélites artificiais: movimento orbital**. São José dos Campos: INPE, 1984. INPE-3163-RPE/458.

DECODIFICAÇÃO E INTERPRETAÇÃO DE MENSAGENS RTCM

Eno Darci Saatkamp

Universidade Federal do Paraná - enosaat@hotmail.com

RESUMO

Os posicionamentos por GPS em tempo real, pelo método diferencial - DGPS, ou pelo método relativo usando a técnica RTK - *Real Time Kinematic*, requerem a transmissão de dados gerados numa estação de referência. Estes dados são transmitidos no formato definido pela RTCM - *Radio Technical Commission for Maritime Services*. O artigo apresentado possibilita ao leitor compreender o processo de decodificação e interpretação das informações contidas nos quadros de mensagens no formato RTCM.

Palavras-chave: RTCM; DGPS; Correções Diferenciais

ABSTRACT

The real time GPS positionings by the differential method - DGPS or by the relative method using the Real Time Kinematic technique - RTK, they request the transmission of data. These data are transmitted in the format defined by the RTCM - Radio Technical Commission for Maritime Services. The presented article enables to the reader to understand the decoding and interpretation processes of the information contained in the RTCM messages frames.

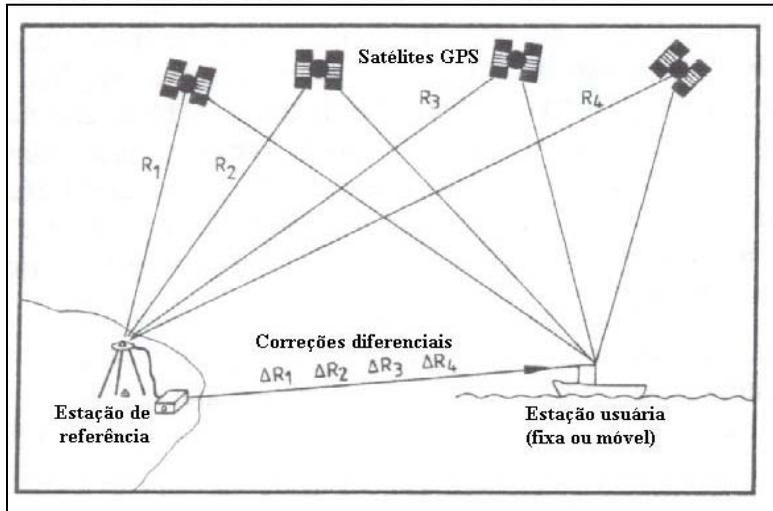
Keywords: RTCM; DGPS; Differential Corrections

1. INTRODUÇÃO

Nos posicionamentos DGPS em tempo real e RTK, necessita-se da transmissão de informações geradas numa estação de referência até a estação usuária, conforme mostrado na figura 01. Elas são transmitidas num formato definido pela **Radio Technical Commission for Maritime Services – Special Committee 104** (RTCM, 1998). Muitos usuários do GPS Diferencial ou do RTK desconhecem o processo de

decodificação e interpretação das mensagens RTCM utilizadas em suas operações de posicionamento. Objetiva-se com este artigo colaborar com os interessados em compreender estes processos.

FIGURA 01 – PRINCÍPIO BÁSICO DO MÉTODO GPS DIFERENCIAL



FONTE: SEEBER (1993, p. 342)

NOTA: Adaptado pelo autor.

As palavras de cada tipo de mensagem RTCM são compostas por diversos campos de informação específicos, sendo que cada campo contém um determinado número de bits. A definição dos 63 tipos de mensagem RTCM e seus campos encontra-se no documento da mesma (RTCM Paper 11-98/SC104-STD), cujo conhecimento é necessário para a decodificação e interpretação da(s) mensagem(s) desejada(s). Dar-se-á ênfase aqui apenas à mensagem RTCM tipo 1 (a de correções GPS Diferenciais), utilizada no posicionamento DGPS em tempo real. Entretanto, o restante delas (inclusive aquelas para o RTK, onde são utilizadas as mensagens 18 e 19 e/ou 20 e 21, que contém dados das fases da portadora e das pseudodistâncias) segue o mesmo princípio de decodificação, mudando apenas os campos relativos a cada tipo de mensagem.

2. AS MENSAGENS RTCM

Em 1983, a *Radio Technical Commission for Maritime Services* fundou o Comitê Especial 104 com a finalidade de desenvolver recomendações e critérios para a transmissão das correções das pseudodistâncias (atingindo então unicamente

os usuários DGPS de código). Estas foram implementadas em 1985 e denominadas de RTCM 1.0, cujo formato tornou-se padrão. Desde 1998, este formato está na versão 2.2, que conta com novos aperfeiçoamentos da versão anterior (versão 2.1) e contempla também outras informações, conforme exposto no quadro 01.

QUADRO 01 – QUADRO DOS TIPOS DE MENSAGEM RTCM

Tipo de Mensagem	Status Atual	Nome da Mensagem
1	Fixa	Correções Diferenciais GPS
2	Fixa	Correções Diferenciais GPS Delta
3	Fixa	Parâmetros da Estação de Referência GPS
4	Tentativa	Datum da Estação de Referência
5	Fixa	Saúde da Constelação GPS
6	Fixa	Quadro Nulo
7	Fixa	Almanaque dos Radiofaróis - GPS
8	Tentativa	Almanaque das Estações Pseudolite
9	Fixa	Cor. Dif. de um Conjunto Parcial de Satélites GPS
10	Reservada	Correções Diferenciais para o Código P
11	Reservada	Correções Diferenciais (C/A, L ₁ e L ₂)
12	Reservada	Estação Pseudolite
13	Tentativa	Estação de Transmissão
14	Tentativa	Tempo da Semana GPS
15	Tentativa	Atraso Ionosférico
16	Fixa	Mensagem Especial GPS
17	Tentativa	Dados de Efemérides GPS
18	Fixa	Medida Bruta da Fase da Portadora - RTK
19	Fixa	Medida Bruta da Pseudodistância - RTK
20	Tentativa	Correções Diferenciais da Portadora - RTK
21	Tentativa	Correções Diferenciais da Pseudodistância - RTK
22	Tentativa	Parâmetros da Estação de Referência GPS
23 – 30	*****	Indefinida
31	Tentativa	Correções Diferenciais GLONASS
32	Tentativa	Estação de Referência GLONASS
33	Tentativa	Saúde da Constelação GLONASS
34	Tentativa	Correções Diferenciais de um Conjunto Parcial de Satélites GLONASS
35	Tentativa	Almanaque dos Radiofaróis - GLONASS
36	Tentativa	Mensagem Especial GLONASS
37	Tentativa	Tempo GNSS
38 – 58	*****	Indefinida
59	Fixa	Mensagem Própria
60 – 63	Reservada	Uso Multi-Fim

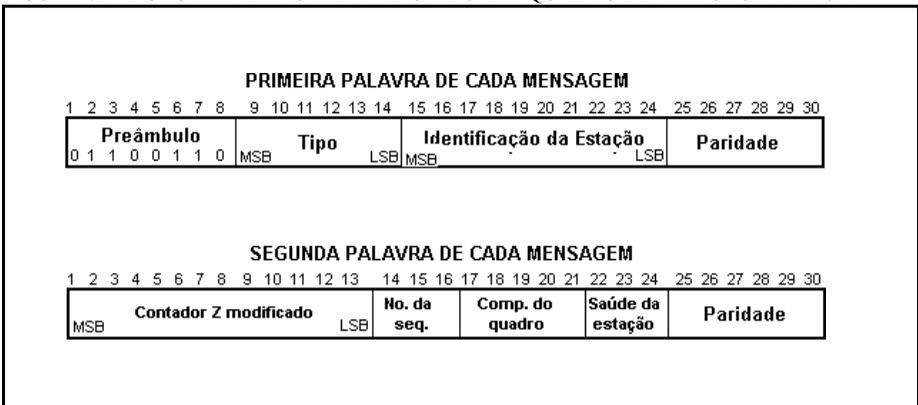
FONTE: RTCM (1998, p. 4-6), V. 2.2

As mensagens são separadas em tipos e identificadas através de seus números de reconhecimento variando de 1 a 63. De maneira geral, elas classificam-se em: fixas, tentativas ou reservadas.

2.1 DESCRIÇÃO DO FORMATO DAS MENSAGENS RTCM

O formato geral das mensagens diferenciais foi modelado com a mesma estrutura da mensagem de navegação do sistema GPS (RTCM, 1998, p.1-1 e 4-2). Entretanto, as mensagens diferenciais utilizam um comprimento variável para o formato, dependente do número de satélites rastreados (RTCM, 1998, p 4-7 e 4-8), enquanto que o formato da mensagem de navegação tem um comprimento fixo. Um quadro de mensagem constitui-se de uma mensagem completa, composta por palavras de 30 bits (figuras 02 e 03), sendo que os primeiros 24 bits constituem-se de dados e os últimos 6 bits são gerados por um algoritmo de paridade, para a detecção de erros que porventura tenham ocorrido na transmissão. O início de cada quadro de mensagem consiste de duas palavras-padrão (ou cabeçalho, figura 02) as quais contêm informações com os seguintes campos: preâmbulo, identificação do tipo de mensagem enviada, identificação da estação de referência, o tempo de referência da mensagem (contador Z modificado), o número de seqüência do quadro, o comprimento do quadro da mensagem, e a saúde (qualidade) dos dados da estação de referência, além da paridade em cada uma das palavras. As duas primeiras palavras que formam o cabeçalho ocorrem em todos os tipos de mensagens. Já as palavras seguintes, embora tenham a mesma forma geral (24 bits de dados + 6 bits de paridade), têm campos específicos para cada tipo de mensagem, conforme descritos em RTCM (1998).

FIGURA 02 – DUAS PRIMEIRAS PALAVRAS DE CADA QUADRO DE MENSAGEM RTCM



FONTE: RTCM (1998, P. 4-3)

FIGURA 03 – PALAVRAS DO QUADRO DE MENSAGEM RTCM TIPO 1

Fator de Escala		Palavras 3, 8, 13 ou 18																											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
UDRE		Satid				PRC														Paridade									
Fator de Escala		Palavras 4, 9, 14 ou 19																											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
RRC				IODE								UDRE		Satid				Paridade											
Fator de Escala		Palavras 5, 10, 15 ou 20																											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
PRC												RRC						Paridade											
Fator de Escala		Palavras 6, 11, 16 ou 21																											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
IODE				UDRE		Satid				PRC (Byte superior)				Paridade															
Fator de Escala		Palavras 7, 12, 17 ou 22																											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
PRC (Byte inferior)				RRC						IODE						Paridade													
		o																											
		o																											
		o																											
Fator de Escala		Última palavra, se o número de satélites for 1, 4, 7 ou 10																											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
RRC				IODE						Preenchimento 1 0 1 0 1 0 1 0				Paridade															
Fator de Escala		Última palavra, se o número de satélites for 2, 5, 8 ou 11																											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
IODE				Preenchimento 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0 1 0														Paridade											

FONTE: RTCM (1998, p. 4-8)

2.2 MENSAGEM RTCM TIPO 1

Na figura 03, observam-se os campos que compõe as palavras de um quadro RTCM tipo1 a partir da terceira palavra, que contém as informações relativas a cada satélite que está sendo rastreado. O número de palavras de um quadro de mensagem tipo 1 é proporcionalmente dependente do número de satélites que estejam sendo rastreados pela estação de referência. Para cada satélite são necessários 6 campos dispostos em 40 bits (mais aqueles de paridade, para cada 24 bits).

Inicialmente, há um campo de um bit que indica o fator de escala para cada satélite. Ele é usado para converter os correspondentes valores numéricos da PRC e da RRC em valores de medida (metros e metros por segundo, respectivamente), conforme será visto adiante. Na seqüência, vêm: faixa de erro do usuário diferencial (2 bits); identificação do satélite (5 bits); correção da pseudodistância (16 bits); taxa de variação da pseudodistância (8 bits); e, no sexto campo, a indicação da época de emissão dos dados de efemérides (*IODE - Issue Of Data Ephemeris*), por 8 bits de código.

3. DECODIFICAÇÃO DA MENSAGEM RTCM TIPO 1

A comunicação física das mensagens entre os equipamentos é realizada por meio de portas de comunicação serial padrão RS232. Os bits de código das mensagens são codificados na forma de caracteres ASCII (ou texto), onde cada caractere corresponde a um byte (8 bits). Entretanto, a formação das mensagens RTCM segue um padrão próprio, onde a ordem de significância dos bits é o inverso daquela usada na comunicação serial. Por isso, para que seja possível interpretar as informações contidas nestas mensagens, é necessário inicialmente decodificá-las na forma binária e posteriormente na forma decimal (valores numéricos).

Para a decodificação, são extraídos os seis bits menos significativos dos oito (obtidos de uma tabela do código ASCII) correspondentes a cada caractere ASCII lido. Estes seis bits necessitam ser rotacionados (inversão da seqüência ou ordem de significância). Pela concatenação binária dos seis bits rotacionados de cada caractere, um conjunto de 5 caracteres ASCII formarão uma palavra RTCM (6 bits/caractere * 5 caracteres=30 bits), conforme exemplificado a seguir:

Y =	01011001 =>	10011010 ➔	bd1=	100110
~ =	01111110 =>	01111110 ➔	bd2=	011111
} =	01111101 =>	10111110 ➔	bd3=	101111
_ =	01011111 =>	11111010 ➔	bd4=	111110
C =	01000011 =>	11000010 ➔	bd5=	110000

Concatenando-se a seqüência de bits de dados bd1 a bd5, formar-se-á a seguinte palavra da mensagem de um quadro RTCM: **100110011111101111111110110000**.

Aqui há ainda um detalhe: se o último bit (D30) da palavra anterior for 1, então os bits desta palavra serão invertidos. Outra forma de verificar se há inversão dos bits da palavra é verificando-se o primeiro caractere do quadro: se ele for 'Y', há inversão, se for 'f', não há inversão. Neste exemplo há inversão, então a palavra da mensagem RTCM será: **0110011000001000000001001111**, onde os 24 primeiros bits correspondem a dados e os 6 últimos bits correspondem à paridade.

3.1 INTERPRETAÇÃO DOS CAMPOS DA MENSAGEM RTCM TIPO 1

Obtidas as palavras RTCM na forma binária, realiza-se a extração binária de cada um dos campos das palavras da mensagem. A sequência binária correspondente a cada campo deve então, para sua interpretação, ser transformada para a forma decimal. Algumas vezes o valor decimal ainda necessita ser multiplicado por um fator de escala, para que finalmente se obtenha o valor da medida correspondente à informação contida naquele campo, conforme será visto a seguir para os campos contidos na mensagem tipo 1.

Primeira Palavra

Na primeira palavra de cada mensagem, tem-se três campos de informação. O primeiro é o preâmbulo, onde 8 bits de código identificam o sistema. Tratando-se de mensagens relativas ao GPS, o mesmo contém o código convencionado 01100110. O segundo campo contém o tipo de mensagem, com 6 bits codificando um dos 63 valores possíveis, conforme exposto no quadro 01; e o terceiro campo é composto por 10 bits que identificam o número da estação de referência, com valores de 0 a 1023. Para a palavra do exemplo anterior, considerando-se que o campo dos bits 9 a 14 corresponde ao tipo de mensagem, tem-se: 000001, que, transformado para decimal, indica que a mensagem é do tipo 1. O último campo sempre será o da paridade, com 6 bits.

Segunda Palavra

Nela, há quatro campos de informação (figura 02). O primeiro fornece a contagem Z modificada, por 13 bits cujo valor decimal correspondente deve ser multiplicado por 0,6 s. São obtidos valores para esta contagem na faixa de 0 a 3599,4 segundos, correspondendo ao número de segundos da hora GPS corrente. O número de sequência do quadro, variando de 0 a 7, está indicado no segundo campo por 3 bits de código. O terceiro campo (5 bits) informa o comprimento do quadro em palavras, com valores de 0 a 31. A saúde da estação de referência está indicada no quarto campo, por um código de 3 bits, de acordo com o quadro 02. O fator de

escala indicado neste campo deve ser multiplicado pelo valor da faixa de erro diferencial da distância para o usuário (UDRE - *User Differential Range Error*), de acordo com o quadro 04, para que seja obtida a faixa estimada do erro diferencial. O UDRE fornece uma estimativa do desvio-padrão da correção. Ele é estimado pela estação de referência, e combina os efeitos estimados do multicaminho, razão sinal/ruído (SNR - *Signal to Noise Ratio*), entre outros (RTCM, 1998, p. 4-7).

QUADRO 02 – INDICADOR DO ESTADO DE SAÚDE DA ESTAÇÃO DE REFERÊNCIA

Código	Indicação
111	Estação de referência desativada
110	Transmissão da estação de referência não monitorada
101	Fator de escala UDRE= 0,1
100	Fator de escala UDRE= 0,2
011	Fator de escala UDRE= 0,3
010	Fator de escala UDRE= 0,5
001	Fator de escala UDRE= 0,75
000	Fator de escala UDRE= 1

FONTE: RTCM (1998, p. 4-4)

Terceira Palavra e demais

Na mensagem RTCM tipo 1, a partir da terceira palavra, tem-se os dados relativos às correções diferenciais para cada um dos satélites rastreados, conforme observou-se na figura 03. Nela percebe-se que o número de bits necessários para os dados relativos a 1 satélite não é múltiplo de uma palavra (24 bits de dados + 6 de paridade). São necessários 40 bits de dados para cada satélite (mais os de paridade), dispostos em 6 campos. O primeiro campo, de um bit de código, define o fator de escala, conforme o quadro 03. Composto por um código de dois bits tem-se o segundo campo, o qual fornece o UDRE, de acordo com o quadro 04. A informação de identificação do satélite ao qual se referem os dados está contida no terceiro campo. Ele é composto por um código de 5 bits, podendo assim indicar valores de 0 a 32.

QUADRO 03 – FATOR DE ESCALA PARA A PRC E A RRC

Código	Indicação
0	Fator de escala para a correção da pseudodistância é 0,02 m Fator de escala para a taxa de variação da correção da pseudodistância é 0,002 m/s
1	Fator de escala para a correção da pseudodistância é 0,32 m Fator de escala para a taxa de variação da correção da pseudodistância é 0,032 m/s

FONTE: RTCM (1998, p. 4-10)

QUADRO 04 – FAIXA DE ERRO DIFERENCIAL PARA O USUÁRIO (UDRE)

Código	Erro diferencial (um sigma)
00	≤ 1 metro
01	> 1 metro e ≤ 4 metros
10	> 4 metros e ≤ 8 metros
11	> 8 metros

FONTE: RTCM (1998, p. 4-10)

O quarto campo da mensagem tipo 1, para um satélite, é composto por 16 bits que fornecem a correção da pseudodistância (PRC - *Pseudo Range Correction*). Os valores podem estar entre $\pm 655,34$ m, quando o fator de escala for 0,02 m, ou entre $\pm 10.485,44$ m quando o fator de escala for 0,32m. Deve-se lembrar que o correspondente valor decimal deve ser multiplicado pelo fator de escala para que se obtenha estes valores da correção em metros. Também cabe observar que o código contido neste campo é uma representação com sinal por complemento de dois. Na prática, isto significa que, quando o primeiro bit (MSB - *Most Significant Bit*) deste campo for 0, o restante dos bits indicam o valor (através da conversão binária para a decimal normal). E quando aquele bit for 1, indica valor negativo. Então, para se obter seu valor, antes da conversão para decimal, inverte-se todos os bits e soma-se 1. Este valor, negativo, é o valor decimal. Exemplificando, suponha-se que foi decodificado para a PRC o seguinte: 111110011001010. Como o primeiro bit é 1, o valor será negativo, portanto tem-se que fazer o complemento de dois antes de calculá-lo: 0000001100110110. Calculando-se o valor decimal correspondente aos 15 bits restantes de dados: $0*2^{14}+0*2^{13}+0*2^{12}+0*2^{11}+0*2^{10}+1*2^9+1*2^8+0*2^7+0*2^6+1*2^5+1*2^4+0*2^3+1*2^2+1*2^1+0*2^0 = 0+0+0+0+0+512+256+0+0+32+16+0+4+2+0=822$. Como foi visto, este valor terá sinal negativo. Multiplicando-se pelo fator de escala (quadro 03), e supondo-se que ele seja 0,02 m, então o correspondente valor da PRC será $(-822)*0,02 \text{ m} = -16,44 \text{ m}$.

O quinto campo da mensagem, que contém 8 bits, fornece a taxa de variação da pseudodistância (RRC - *Range Rate Correction*). Ela pode ter valores entre $\pm 0,254$ m/s quando o fator de escala for 0,002 m/s, e entre $\pm 4,064$ m/s quando o fator de escala for 0,032 m/s. Como a RRC pode ter valores negativos ou positivos, sua decodificação/interpretação segue o mesmo princípio (complemento de dois) descrito anteriormente para a PRC.

No sexto e último campo da mensagem tipo 1 para um satélite, tem-se, por 8 bits de código, a indicação do número relativo à época de emissão dos dados de efemérides (IODE).

Para realizar a decodificação e interpretação de mensagens RTCM tipo 1, foi desenvolvido um programa original, o qual pode efetuar a leitura dos quadros RTCM

de um arquivo, ou diretamente de um receptor GPS, via porta de comunicação serial. Ele mostra na tela e, opcionalmente, grava em arquivo, tanto os dados binários decodificados quanto as informações interpretadas. A seguir é fornecido um exemplo com nove quadros de mensagem RTCM tipo 1 lidos pelo mesmo, e as correspondentes saídas decodificadas/interpretadas.

Quadros de mensagem RTCM tipo 1 na forma ASCII:

```

Y~}_{CtOiDxg}□qC@@JJz@j~oUhCx_PcApE`o|□FT@`L□^_[A`J]UUUA
fAB`|KP[ {MXB@N|□□uuE□UA`qW|G`JcBpE□o|□Fq□_s@D_[APtbjjj~
Y~}_{CtomDAXB@N|□□uuE□UA`qW|G`JcBpE□o|□Fq□_s@D_[N`}bjjj~
Y~}_{Ct_bDwg}□qC@@JJz@jqoGhCx_u|□Ozlo|□ff□_s@a`dyo`bjjj[
fAB`Yt_kDag}□II@@JJz@jq_`hCx_Pc@pEvo|□fC@`L□{`dyoE]UUUA
fAB`|K`X{YXB@vv□□uuE□UN`cW|G`o|OzHPC@Y|□_s@D_[J`C]UUUA
fAB`|K@Q{mg}□II@@JJz@jqoGhCx_u|Ozmo|□ff□_s@a`duoB]UUUA
fAB`|K@^ {g}□II□□uu`@jq_yW|G`JCCpERPC@YY@`L□^_[JP]bjjj~
Y~}_{CL@hDlg}□II@@JJz@jqoGhCx_u|Ozmo|□ff□_s@a`du_Y]UUUD

```

Decodificação/interpretação dos quadros de mensagem anteriores pelo programa:

CONVERSÃO DE DADOS RTCM

AUTOR: ENO DARCI SAATKAMP - Email: enosaat@hotmail.com -
Curitiba-Brasil

```

011001100000010000000001110000
001011111100100101001000000111
000110010000000000011100110000
000000000000010100010100010111
1111110101010100000000010101010
000101110000000111111110000010
11000110000000001110100000001
00001011000000000100111001010
000000000001001100111111011110
111110110110100000000001010100
1011101010101010101010100000

```

No. de bits: 330 Stid: 1 MZcount: 917.4

Sat:25 UDRE:0 IODE:5 PRC:0.56 RRC:0.000

Sat:20	UDRE:0	IODE:23	PRC:-6.88	RRC:0.004
Sat: 1	UDRE:0	IODE:232	PRC:-6.28	RRC:0.000
Sat:11	UDRE:0	IODE:19	PRC:0.78	RRC:0.000
Sat:31	UDRE:1	IODE:186	PRC:-23.52	RRC:0.002

```

01100110000001000000000010011111
00101111111010010010010001011100
000110010000000000011100001111
000000000000010100010100101000
11111110101010100000000001100011
000101110000000111111110010100
110001010000000011101000111111
000010110000000000100111100011
000000000001001100111111001000
111110110110100000000010001011
101110101010101010101010011111

```

No. de bits: 330 Stid: 1 MZcount: 918.0

Sat:25	UDRE:0	IODE:5	PRC:0.56	RRC:0.000
Sat:20	UDRE:0	IODE:23	PRC:-6.88	RRC:0.002
Sat: 1	UDRE:0	IODE:232	PRC:-6.30	RRC:0.000
Sat:11	UDRE:0	IODE:19	PRC:0.78	RRC:0.000
Sat:31	UDRE:1	IODE:186	PRC:-23.52	RRC:0.004

```

011001100000010000000001110000
0010111111101101101001000100000
000110010000000000011100001111
000000000000010100010100101000
11111110101010100000000001100011
000101110000000111111110010100
110001010000000011101000111111
000010110000000000100111100011
000000000001001100111111001000
111110110110011100000001101111
101110101010101010101010011111

```

No. de bits: 330 Stid: 1 MZcount: 918.6

Sat:25	UDRE:0	IODE:5	PRC:0.56	RRC: 0.000
--------	--------	--------	----------	------------

Sat:20	UDRE:0	IODE:23	PRC:-6.88	RRC: 0.002
Sat: 1	UDRE:0	IODE:232	PRC:-6.30	RRC: 0.000
Sat:11	UDRE:0	IODE:19	PRC:0.78	RRC: 0.000
Sat:31	UDRE:1	IODE:186	PRC:-23.54	RRC: 0.002

```

0110011000000100000000001110000
0010111111110010001001000111011
0001100100000000000011100110000
000000000000010100010100010111
111111101010011100000010111000
000101110000000111111110101011
110001000000000011101000001101
000010110000000000100110011001
000000000001001100111111100001
111110110110011000000010000001
10111010101010101010101010110110

```

No. de bits: 330 Stid: 1 MZcount: 919.2

Sat:25	UDRE:0	IODE:5	PRC:0.56	RRC: 0.000
Sat:20	UDRE:0	IODE:23	PRC:-6.90	RRC: 0.004
Sat:1	UDRE:0	IODE:232	PRC:-6.32	RRC:0.000
Sat:11	UDRE:0	IODE:19	PRC:0.76	RRC:0.000
Sat:31	UDRE:1	IODE:186	PRC:-23.56	RRC:0.004

```

0110011000000100000000001100110
0010111111110110101001000100001
0001100100000000000011011100100
0000000000000010100010100010111
1111111010100111000000001001110
0001011100000000111111110000010
11000100000000000011101000011011
0000101100000000000100110110000
0000000000001001100111111110111
111110110110011000000010101000
101110101010101010101010100000

```

No. de bits: 330 Stid: 1 MZcount: 919.8

Sat:25	UDRE:0	IODE:5	PRC:0.54	RRC:0.000
--------	--------	--------	----------	-----------

Sat:20	UDRE:0	IODE:23	PRC:-6.90	RRC:0.002
Sat: 1	UDRE:0	IODE:232	PRC:-6.32	RRC:0.000
Sat:11	UDRE:0	IODE:19	PRC:0.76	RRC:0.000
Sat:31	UDRE:1	IODE:186	PRC:-23.56	RRC:0.004

```
01100110000001000000000010011111
0010111111110111001001000100110
0001100100000000000011011011011
000000000000010100010100101000
111111101010011100000001110001
000101110000000111111110111101
110000110000000011101000000100
000010110000000000100110001111
000000000001001100111111001000
111110110110010100000001110000
101110101010101010101010100000
```

No. de bits: 330 Stid: 1 MZcount: 919.8

Sat:25	UDRE:0	IODE:5	PRC:0.54	RRC:0.000
Sat:20	UDRE:0	IODE:23	PRC:-6.90	RRC:0.002
Sat: 1	UDRE:0	IODE:232	PRC:-6.34	RRC:0.000
Sat:11	UDRE:0	IODE:19	PRC:0.76	RRC:0.000
Sat:31	UDRE:1	IODE:186	PRC: -23.58	RRC:0.002

```
01100110000001000000000010011111
0010111111111011101001000101101
0001100100000000000011011100100
000000000000010100010100010111
1111111010100111000000010111000
000101110000000111111110101011
110000110000000011101000101101
000010110000000000100110011001
000000000001001100111111100001
111110110110010100000010010000
101110101010101010101010100000
```

No. de bits: 330 Stid: 1 MZcount: 920.4

Sat:25	UDRE:0	IODE:5	PRC:0.54	RRC:0.000
--------	--------	--------	----------	-----------

Sat:20	UDRE:0	IODE:23	PRC:-6.90	RRC:0.004
Sat: 1	UDRE:0	IODE:232	PRC:-6.34	RRC:0.000
Sat:11	UDRE:0	IODE:19	PRC:0.76	RRC:0.000
Sat:31	UDRE:1	IODE:186	PRC:-23.58	RRC:0.004

```

01100110000001000000000010011111
00101111111111000010010001111111
000110010000000000011011001101
000000000000010100010100000001
1111111010100111000000011001111
000101110000000111111110010100
110000110000000011101000010010
000010110000000000100110100110
000000000001001100111111011110
111110110110010100000010101111
101110101010101010101010011111

```

No. de bits: 330 Stid: 1 MZcount: 921.0

Sat:25	UDRE:0	IODE:5	PRC:0.54	RRC:0.000
Sat:20	UDRE:0	IODE:23	PRC:-6.90	RRC:0.002
Sat: 1	UDRE:0	IODE:232	PRC:-6.34	RRC:0.000
Sat:11	UDRE:0	IODE:19	PRC:0.76	RRC:0.000
Sat:31	UDRE:1	IODE:186	PRC:-23.58	RRC:0.004

```

011001100000010000000001110000
001100000000000101001000001101
000110010000000000011011100100
000000000000010100010100010111
1111111010100111000000010111000
000101110000000111111110101011
110000110000000011101000101101
000010110000000000100110011001
000000000001001100111111100001
111110110110010100000001100110
101110101010101010101010001001

```

No. de bits: 330 Stid: 1 MZcount: 921.6

Sat:25	UDRE:0	IODE:5	PRC:0.54	RRC:0.000
--------	--------	--------	----------	-----------

Sat:20	UDRE:0	IODE:23	PRC:-6.90	RRC:0.004
Sat: 1	UDRE:0	IODE:232	PRC:-6.34	RRC:0.000
Sat:11	UDRE:0	IODE:19	PRC:0.76	RRC:0.000
Sat:31	UDRE:1	IODE:186	PRC:-23.58	RRC:0.002

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo deste artigo foi mostrar, de forma simples, o procedimento básico para a decodificação e interpretação de mensagens RTCM. Embora os exemplos dados foram relativos à mensagem RTCM tipo 1, o mesmo processo se estende a todos os tipos de mensagem. O leitor interessado pode praticar manualmente este procedimento, comparando com os exemplos fornecidos. Quaisquer dúvidas, sugestões ou críticas devem ser reportadas ao autor.

5. REFERÊNCIAS

ICD-GPS-200C – Interface Control Document. **Navstar GPS Space Segment/Navigation User Interfaces**. Arinc Research Corporation, CA, 1993.

LANGLEY, R. B. **RTCM SC-104 DGPS Standards**. GPS World, p. 48-53, maio de 1994.

RTCM. **RTCM recommended standards for differential GNSS (Global Navigation Satellite Systems) service**. Versão 2.2. RTCM Special Committee n°104, Alexandria, paper 11-98/SC104-STD, January 15, 1998.

SEEBER, G. **Satellite Geodesy: foundations, methods and applications**. Berlin – New York, 1993.

CONSTRUÇÃO DE UM BANCO DE DADOS GEO-REFERENCIADO PARA DADOS TOPOGRÁFICOS E GRAVIMÉTRICOS DO ESTADO DO PARANÁ

Vivian de Oliveira Fernandes ¹
Márcia Cristina Lopes Quintas ₂

1. Universidade Federal do Paraná - vivideof@hotmail.com
2. Universidade Federal do Paraná - mquintas@ufpr.br

RESUMO

Desde a década de 70, a Região Metropolitana de Curitiba e arredores foram objeto de levantamentos constantes, revelando uma malha de dados pouco consistente e com vários vazios no interior do Estado do Paraná. Tais informações formam o banco de dados gravimétricos do Departamento de Geomática da Universidade Federal do Paraná com 2000 estações. A fim de promover uma atualização e melhoria deste banco e com o englobamento de dados provenientes do Instituto Astronômico e Geofísico (IAG) e Companhia Paranaense de Energia Elétrica (COPEL), chegou-se na casa de aproximadamente 9000 estações, entre estes dados geodésicos, gravimétricos e topográficos, dados os quais foram conseguidos através de colaboração entre estes órgãos, disponibilizando assim a atualização de informações.

Este trabalho tem como finalidade a construção de um banco de dados, a fim de organizar e ampliar o banco existente, tendo a intenção de no futuro além do registro de informações geodésicas, gravimétricas e topográficas de campo e a intenção de projetar uma base de dados, na qual seja possível associar uma base cartográfica em *Geographical Information System* (GIS), envolvendo todos os levantamentos geodésicos horizontais, verticais e as grandezas gravimétricas de precisão devidamente classificadas e qualificadas. E posterior objetivo a construção da carta geoidal do Estado do Paraná.

Palavras – chave: Gravimétricos; Topográficos; Dados.

ABSTRACT

Since the decade of 70, the Metropolitan Area of Curitiba and surroundings were object of constant risings, revealing a little solid mesh of data and with several emptiness inside the State of Paraná. Such information form the database gravimetric of the Department of Geomática of the Federal University of Paraná with 2000 stations. In order to promote an updating and improvement of this bank and with the union of coming dates of the Astronomical and Geophysical Institute (IAG) and Company Paranaense of Electric Power (COPEL), it was arrived the approximately 9000 stations, among these geodesic dates, gravimetric and topographical, dates which they were gotten through collaboration among these organizations, making available like this the updating of information.

This work have the purpose the construction of the database, in order to organizes and to enlarge the existent bank, with the intention of in the future besides the registration of geodesic information, gravimetric and topographical of field and the intention of projecting the database, in the which possible to associate the cartographic base in Geographical Information System (GIS), involving all properly of the horizon, vertical geodesic risings and the greatness gravimetric of precision classified and qualified. And subsequent objective the construction of the letter geoidal of the State of Paraná.

Keywords: Gravimetric; Topographical; Date.

1. Introdução

Desde a década de 70, a Região Metropolitana de Curitiba e arredores foram objeto de levantamentos constantes, revelando uma malha de dados pouco consistente e com vários vazios no interior do Estado do Paraná. Tais informações formam o banco de dados gravimétricos do Departamento de Geomática da Universidade Federal do Paraná com 2000 estações. A fim de promover uma atualização e melhoria deste banco e com o englobamento de dados provenientes do Instituto Astronômico e Geofísico (IAG) e Companhia Paranaense de Energia Elétrica (COPEL), chegou-se na casa 9000 estações, entre estes dados gravimétricos e topográficos, dados os quais foram conseguidos através de colaboração entre estes órgãos, disponibilizando assim a atualização de informações.

Este trabalho tem como finalidade a construção de um banco de dados, a fim de organizar e ampliar o banco existente, e possibilitando a construção da carta geoidal do Estado do Paraná.

2. Metodologia

O presente banco de dados foi construído no programa comercial *MS Access*®. Neste ambiente foram realizadas associações entre os dados de diferentes proveniências DGEOM/UFPR, IAG/USP e COPEL e determinando assim arquivos que permitem o cadastramento e recuperação dos dados. (Figura 1)

Nestes arquivos encontram-se as seguintes informações referentes à rede geodésica, como latitude, longitude, altitude elipsóidica, altitude ortométrica, gravidade no ponto, anomalia free-air, anomalia bouger, entre outros como as precisões dos equipamentos utilizados, tipo de levantamento realizado.

Estes dados passaram por uma análise criteriosa a fim de se qualificar as observações visando à implementação deste banco, possibilitando centralizar, classificar e qualificar os dados, em associação com uma base cartográfica em SIG, através das informações disponíveis e assim a construção de mapas temáticos.

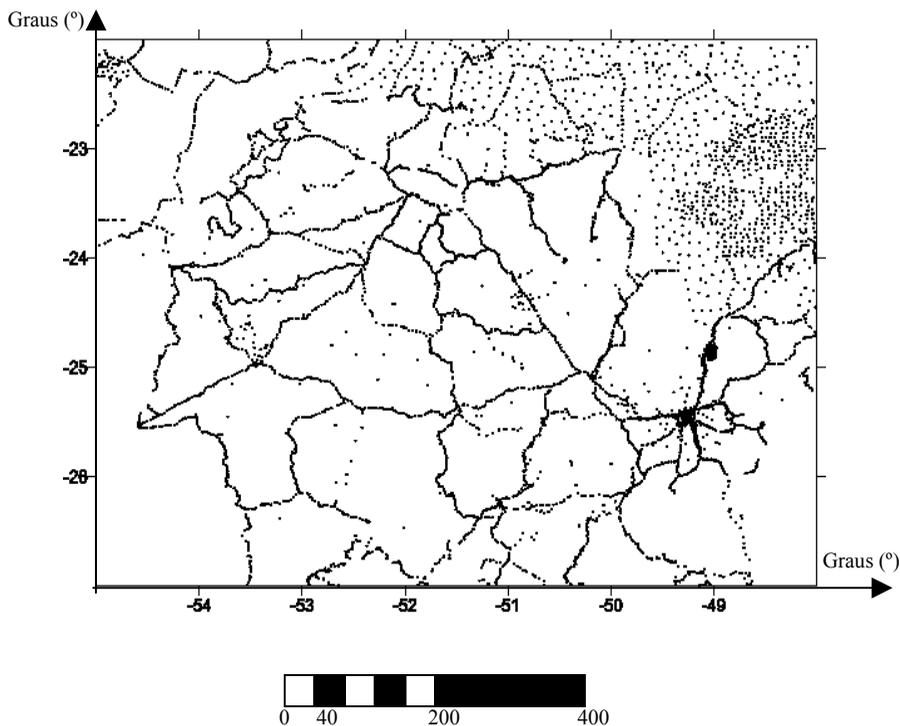
Figura 1: Formulário de Cadastramento dos Dados em Ambiente Access

CÓD	<input type="text" value="8858"/>	Gravidade	<input type="text" value="978753"/>
Proveniência	<input type="text" value="Copel"/>	Free-Air	<input type="text" value="13,12"/>
Tipo de Ponto	<input type="text" value="Ponto Gravimétrico"/>	Bouger	<input type="text" value="-63"/>
Latitude	<input type="text" value="-24,9283"/>	Referencial	<input type="text" value="Sad_69"/>
Longitude	<input type="text" value="-53,48610003"/>	Datum	<input type="text" value="Córrego Alegre"/>
Altitude Ortométrica	<input type="text" value="676,65"/>	Foto da Estação	
Altitude Elipsoidal	<input type="text" value="680,24"/>		
Ondulação Geoidal	<input type="text" value="3,59"/>		
Data de Cadastramento	<input type="text" value="11/10/2002"/>		
Data de	<input type="text"/>		

Registro: 2858 de 12146

A visualização e plotagem dos dados são feitas utilizando-se o software *Arc View*®.

Figura 2: Visualização dos dados disponíveis.



Escala aproximada: 1: 8.000.000

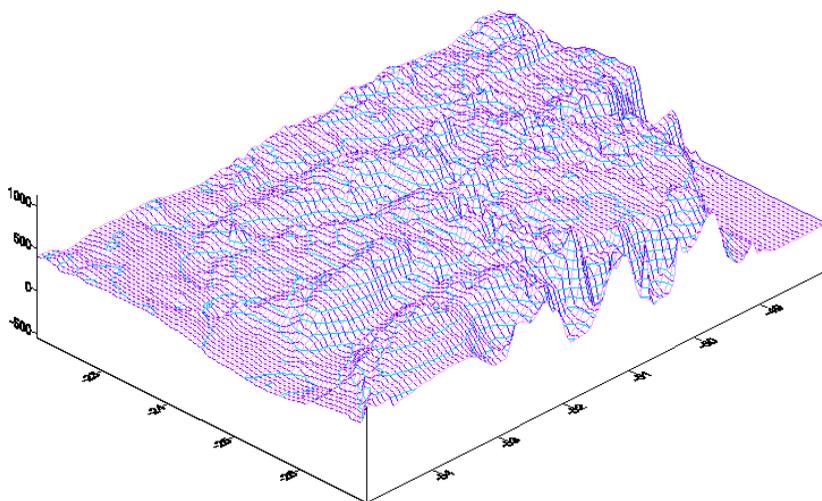
Foi possível a geração do Modelo Digital do Terreno (MDT) através do Software Comercial *Surfe*®.

O interpolador utilizado neste trabalho para a geração das grades foi o inverso da distância, o qual possui as seguintes características principais: este método utiliza um interpolador de média ponderada e que pode ser exato ou suavizante em relação à concordância com os pontos originais de observação. Durante a interpolação, os dados são ponderados para que a influência de um ponto em relação a outro varie inversamente com a distância de um nó da grade regular ou seja, os pontos ou amostras mais próximos terão peso maior. Este é um método muito rápido para se gerar a grade, entretanto, tende a gerar curvas que circundam a posição dos pontos observados.

Foram utilizados dados plani-altimétricos dos respectivos pontos, inclusive pontos que situam-se em ambiente marinho e fora do Estado do Paraná, para que pudesse proporcionar uma maior rigidez ao terreno representado.

O modelo digital do terreno gerado pelo interpolador do inverso da distância se encontra na figura abaixo.

Figura 3: Modelo Digital do Terreno dos dados englobados DGEOM/UFPR, IAG/USP e COPEL



Com os dados das anomalias *Free-Air* e *Bouguer* foi possível a geração de representações para estas anomalias, no qual resultou nas seguintes representações:

Figura 4: Representação das Anomalias Free-Air (mGal)

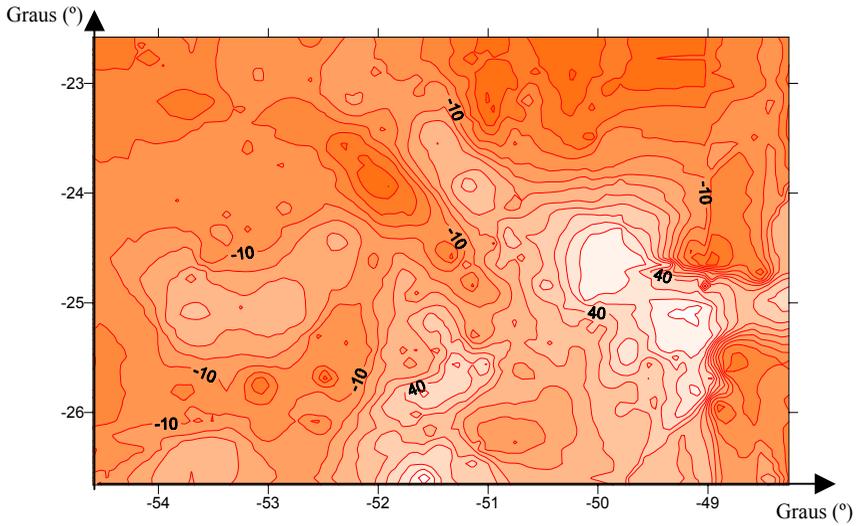
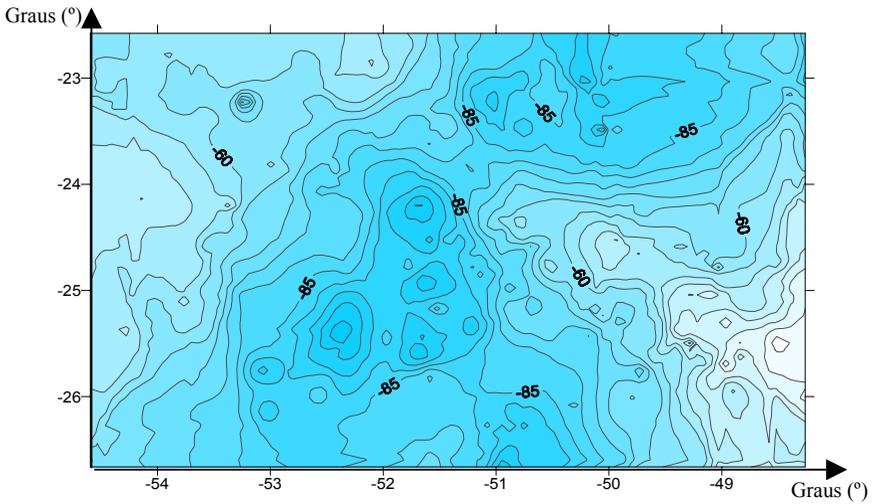


Figura 5: Representação das Anomalias Bouguer (mGal)



3. Análise dos Resultados e Conclusão

Este trabalho contribui com os usuários de informações altimétricas e gravimétricas oferecendo uma nova ferramenta para facilitar o dia a dia da comunidade usuária, a qual necessita de informações e de como armazená-las.

A construção deste banco de dados possibilitará um maior controle dos dados já existentes e dos próximos levantamentos que serão realizados, a fim de obtermos novas informações planimétricas, altimétricas e gravimétricas. Com a criação deste banco de dados, estas informações ficarão centralizadas, permitindo que a comunidade as usufrua, com a finalidade de melhorar o planejamento das operações, tanto geodésicas, topográficas quanto gravimétricas. Trabalho o qual abre possibilidade da construção de uma carta geoidal do Estado do Paraná.

4. Referências

ARANA, Milton J. *Geodesia Física – Notas de aula*. Universidade Estadual Paulista – UNESP, 2000.

BLITZKOW, Denizar. *O Problema de Valor de Contorno da Geodésia*. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo Tese. São Paulo, 1996.

ENVIROMENT SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE - ESRI. *ArcView User's Guide 3.2*. Redlands, California: 1997.

GEMAEEL, Camil. *Geodesia Física*. Editora da Universidade Federal do Paraná. 1999.

INSTITUTO BRASILEIRO DE PESQUISA EM INFORMÁTICA. *Access 97, Método Rápido*. Rio de Janeiro, 1977.

JORDAN, Elaine N. *Base de Dados Geodésicos para O Estado do Paraná*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 1999.

LOPES, Eymar S. S. *Tutorial – Spring 3.6* INPE – Instituto Espacial de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos, 2002.

MIRÓNOV, V. S. *Curso de Prospección Gravimétrica*. Editora Reverté. Spain, 1977.

PIÑA, Walter H. S. *A Determinação de um Modelo Geoidal de Precisão para o Uruguai*. Tese de Doutorado. Curitiba, 2000.

PIÑA, Walter H. S., SOUZA, Mauro A. ***O Estado da Base de Dados Gravimétrica do Observatório Nacional (BDC-ON)***. Rio de Janeiro, 2001.

QUINTAS, M. C. L. ***O Embasamento da Bacia do Paraná: Reconstrução Geofísica de seu Arcabouço***. Tese. Universidade de São Paulo. Instituto Astronômico e Geofísico (IAG). 213p. 1995.

SÁ, Nelsi C. ***Redução de Observações Gravimétricas: teoria e prática***. Universidade de São Paulo. Departamento de Geofísica – IAG. São Paulo, 1994.

TRANSFORMAÇÃO ENTRE REDES GEODÉSICAS: CONSIDERAÇÕES SOBRE OS ESPAÇOS 3D E 2D

Claudia Lellis Callado Anciães¹
Leonardo Castro de Oliveira²

- 1 Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – claudiacallado@ibge.gov.br
- 2 Instituto Militar de Engenharia – leonardo@aquarius.ime.eb.br

RESUMO

As transformações (ou conversões) entre Redes Geodésicas, em nosso país, são realizadas empregando-se modelos tridimensionais, utilizando equações cartesianas e parâmetros determinados e divulgados pelo IBGE – Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Há casos, porém, em que a componente altimétrica associada às coordenadas de uma determinada estação é desconhecida. Usa-se, para efeito de transformação, considerá-la igual a zero, caracterizando um conjunto coordenado 3D com restrição, função do valor altimétrico imposto. Outra alternativa possível seria a caracterização deste conjunto coordenado como sendo 2D. Há, entretanto, a necessidade de se verificar a validade destes procedimentos. Para tal, foram gerados indicadores a partir de uma amostra de pontos localizados em 5 diferentes áreas do território nacional, sendo ao norte, ao sul, a leste, a oeste e central. Esta amostra foi associada a um Sistema Geodésico e, a partir dela, foram realizadas transformações para outros diferentes Sistemas, proporcionando a identificação das tendências existentes. As tendências foram posteriormente comprovadas através de um conjunto de dados representativo para o Brasil. Os conjuntos de dados, simulados matematicamente, foram associados à materialização de um sistema origem, neste caso o SAD 69 (*South American Datum 1969*), e considerados isentos de deformações. Como sistema destino optou-se pelo CA (Córrego Alegre), WGS 84 (*World Geodetic System 1984*) e SIRGAS (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas). As transformações contemplaram 2 e 4 parâmetros (espaço 2D) e 3 e 7 parâmetros (espaço 3D). Para efeito do trabalho, independente de como foram obtidos, os parâmetros usados para as transformações também foram considerados isentos de deformações. Utilizou-se a metodologia recomendada pelo IBGE sempre que possível. Na impossibilidade de uso, adotou-se alternativas propostas de autores nacionais.

Palavras-chave: Modelos Geométricos; Transformações de Coordenadas Geodésicas; Redes Geodésicas

ABSTRACT

Conversions (or transformations) are realized amongst Geodetic Network, in this country, applying tridimensional models, that use cartesian equations and parameters determined and divulged by IBGE. However, in some cases, the height component (h) associated by station coordinates is unknown. As transformation happens, h should be taken as zero, composing a 3D restricted coordinate set, in function of the impose on altimetric variation. Other possible alternative is to compose a 2D coordinate set. If then, it's needed to verify such procedures. Indicators of transformation tendency to a sample set of stations were generated in five different areas of national territory: north, south, east, west and central point. This set was associated to distinct Geodetic Systems to identify these tendencies. Which were proved by a representative set of Brazilian stations. These mathematical sets were associated to the realization of South American Datum 1969 (original system) and were considered without deformations. The chosen final systems were Corrego Alegre, World Geodetic System 1984 and American Geocentric Reference System (SIRGAS). The transformations consider 2 and 4 parameters (2D space) and 3 and 7 parameters (3D space). These parameters were taken into account without deformations to absorb the transformations. The methodology recommended by IBGE was adopted, whenever was possible. But, as the technical documentation to recuperate informations is needed, alternative national authors were used in some situations.

Keywords: Geometric Models; Transformation of Geodetic Coordinates; Geodetic Networks.

1. INTRODUÇÃO

As atividades humanas que necessitam de posicionamento, sejam no âmbito do setor público ou do setor privado, institucionais ou não, baseiam-se em informações georreferenciadas, ou seja, informações que estão associadas a um sistema de coordenadas terrestres. A posição destas informações é determinada com o suporte das Redes Geodésicas, que correspondem à materialização dos Sistemas Geodésicos. No Brasil, as informações estão referidas ao Sistema Geodésico Brasileiro – SGB, cuja componente planimétrica é coincidente com o SAD 69.

O SAD 69 coexiste, atualmente, com sistemas distintos, tais como o Corrego Alegre e o WGS 84. Uma informação definida por coordenadas em um destes sistemas pode ser transformada para os demais, desde que sejam conhecidos os parâmetros que os inter-relacionam. Os modelos utilizados em nosso país para

realização das transformações são tridimensionais, contando com equações cartesianas e parâmetros determinados e divulgados pelo IBGE – Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Quando a componente altimétrica (h) de uma estação é desconhecida usa-se, para efeito de transformação, considerá-la igual a zero. Neste caso, caracteriza-se um conjunto coordenado como 3D com restrição, uma vez que o real valor desta componente é assumido como zero. Outra alternativa possível seria a caracterização deste conjunto coordenado como sendo 2D.

O presente trabalho se propõe a avaliar estes procedimentos, considerando:

a) Uma variação de 3.000 metros, sendo este o valor “real” da componente altimétrica assumido como zero. Optou-se por adotar uma variação desta magnitude por retratar o pior caso possível em termos de contexto nacional (Pico da Neblina possui 3.014 metros), baseando-se também na pesquisa realizada por ANCIÃES & OLIVEIRA (2001), onde é demonstrado que, no processo de transformação de coordenadas empregando a metodologia utilizada no Brasil, os erros altimétricos, aqui chamados de “variação”, são, em teoria, totalmente absorvidos pela componente altimétrica transformada. Na prática, porém, há uma pequena discrepância em função do processamento realizado.

b) A possibilidade de se considerar o conjunto coordenado como sendo bidimensional, determinando-se modelos e parâmetros homólogos, no espaço 2D, para serem aplicados em substituição ao 3D.

2. DEFINIÇÃO DOS PROCEDIMENTOS

2.1. VISÃO GERAL

Para efetuar as avaliações propostas para o processo de transformação entre Redes Geodésicas, gerou-se um conjunto de dados que simulasse as coordenadas correspondentes à materialização de um sistema origem, e este sendo isento de deformações. Da mesma forma, os parâmetros empregados na transformação, também foram considerados, por hipótese, isentos de deformações, independente de como foram obtidos.

A concepção sintetizada do trabalho é a de que tendo-se um conjunto de coordenadas origem sem deformações e um conjunto de parâmetros também sem deformações, se possa gerar coordenadas destino sem deformações. Dessa forma, se as deformações são inexistentes, as transformações são “rigorosamente” matemáticas, chegando-se aos valores “exatos” referentes a um sistema origem ou destino, podendo-se avaliar melhor a mudança do espaço (3D para 2D) e a influência numérica causada pela variação altimétrica (restrição).

2.2. CONJUNTO DE DADOS

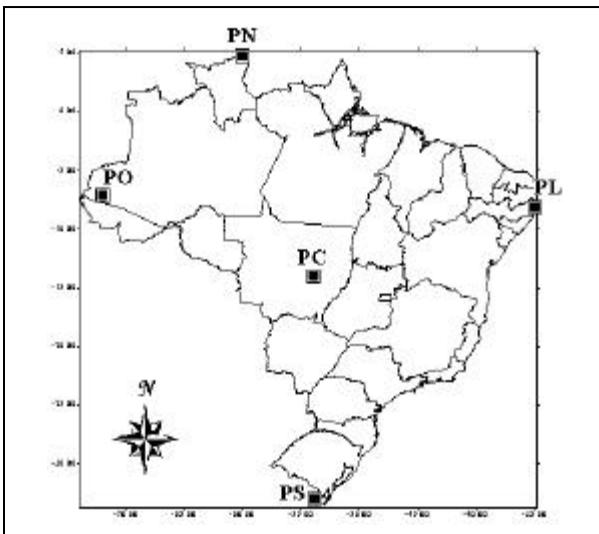
Foram gerados indicadores a partir de uma amostra de pontos localizados em 5 diferentes áreas do território nacional – norte, sul, leste, oeste e central. Esta amostra foi associada ao SAD 69 (sistema origem), e irão proporcionar a identificação das tendências existentes nas transformações executadas para os sistemas destino. As coordenadas dos pontos estão resumidos na TABELA 01, enquanto a FIGURA 01 apresenta a localização aproximada dos mesmos.

As tendências foram posteriormente comprovadas com a utilização de um conjunto de dados representativo para o Brasil, retratado em 46 arquivos baseados na distribuição da Carta Internacional ao Milionésimo (CIM), usando o recorte geográfico até a escala 1/2.000, considerando-se espaçamentos de 36". Deste modo, cada um dos arquivos, composto por 241.001 pontos, foi considerado como unidade de avaliação.

TABELA 01 – PONTOS UTILIZADOS PARA DEFINIÇÃO DOS INDICADORES (SAD 69)

<i>Ponto Norte</i>	<i>Ponto Oeste</i>	<i>Ponto Leste</i>	<i>Ponto Central</i>	<i>Ponto Sul</i>
$\varphi = +05^\circ$	$\varphi = -07^\circ$	$\varphi = -08^\circ$	$\varphi = -14^\circ$	$\varphi = -33^\circ$
$\lambda = -60^\circ$	$\lambda = -72^\circ$	$\lambda = -35^\circ$	$\lambda = -54^\circ$	$\lambda = -54^\circ$

FIGURA 01 – LOCALIZAÇÃO APROXIMADA DOS 5 PONTOS



2.3. SISTEMAS

O sistema eleito como origem foi o SASD 69. Como sistemas destino optou-se pelo CA, WGS 84 e SIRGAS. A escolha dos sistemas levou em consideração a sua relevância no contexto nacional, pelos motivos que seguem:

- a) CA: primeiro sistema adotado oficialmente no Brasil, utilizado ainda hoje na cartografia função da legislação vigente;
- b) SAD 69: sistema oficial empregado nas atividades que necessitem de georreferenciamento em nosso país;
- c) WGS 84: adotado em cartas náuticas e aeronáuticas por convenção internacional, e por ser o sistema associado ao GPS;
- d) SIRGAS: sistema geocêntrico que deverá ser adotado no Brasil e no Continente Sulamericano, conforme projeto apresentado pelo IBGE.

As transformações realizadas nos espaços 2D e 3D contemplam 2 e 4 parâmetros e 3 e 7 parâmetros, respectivamente, como apresentado na TABELA 02.

TABELA 02 – SISTEMAS E ESPAÇOS CONSIDERADOS NAS TRANSFORMAÇÕES

Sistemas		2P (2D)	3P (3D)	4P (2D)	7P (3D)
Origem	Destino				
SAD 69	CA	X	X	X	X
	WGS 84	X	X	-	-
	SIRGAS	-	-	X	X

2.4. METODOLOGIA

Os conjuntos coordenados transformados no espaço 3D foram tomados como referência para as avaliações realizadas. As comparações ocorreram entre os resultados obtidos para 2 e 3 parâmetros, considerando-se os sistemas destino CA e WGS 84, e para 4 e 7 parâmetros, considerando-se CA e SIRGAS. Como o IBGE (2002) registra que a diferença entre as coordenadas de um mesmo ponto, referidas ao WGS 84 e ao SIRGAS, é inferior a 5 centímetros, podendo considerá-las, para efeito prático, como equivalentes, optou-se por empregar o SIRGAS apenas para 4 e 7 parâmetros, uma vez que o WGS 84 foi utilizado para 2 e 3 parâmetros – já que, neste caso, é impossível a determinação dos 7 parâmetros de modo homólogo à determinação dos 3 parâmetros.

Adotou-se a metodologia do IBGE para 3 parâmetros – somente translações – determinando-se, analogamente, a metodologia para 2 parâmetros. E, para se ter uma outra abordagem optou-se, adicionalmente, pela Transformação de Similaridade de Helmert, conforme apresentado em ANCIÃES (2003). Essa transformação se caracteriza por preservar a ortogonalidade nas coordenadas

transformadas, sendo o mais utilizado atualmente em Geodésia, como pode ser constatado em SEEBER (1993), SOLER (1998), OLIVEIRA (1988), COSTA (1999), DAWSON & STEED (2001), CASTRO *et al.* (2001), entre outros. Neste trabalho, nas expressões inerentes à transformação de Helmert, as coordenadas cartesianas (X,Y,Z) foram substituídas pelas coordenadas curvilíneas (f,?,h).

2.5. PARÂMETROS

Os parâmetros entre SAD 69 e CA foram obtidos a partir de 90 pontos usados por BLITZKOW & LAZZARO (1988), cujos valores de h eram iguais a zero. Isso porque os parâmetros divulgados pelo IBGE, na forma apenas de 3 translações, não puderam ser utilizados para todos os testes propostos pela ausência de documentação sobre sua obtenção, não permitindo a geração dos demais parâmetros necessários (2, 4 e 7 parâmetros).

Para a transformação entre SAD 69 e WGS 84 foram utilizados os parâmetros divulgados pela Fundação IBGE (1995), obtidos pelo critério do ponto definido, ou seja, considerando-se apenas os dados referentes ao ponto origem – VT Chuá (FORTES *et al.*, 1989). Desta forma, pôde-se trabalhar apenas com 2 e 3 parâmetros, não havendo elementos suficientes para a determinação de 4 e 7 parâmetros, que exigiriam o mínimo de 3 pontos para sua obtenção.

Não há parâmetros oficiais divulgados entre SAD 69 e SIRGAS. Assim, como se teve acesso a 3 diferentes trabalhos abordando a determinação de parâmetros não oficiais – COSTA (1999), COSTA *et al.* (1999) e CASTRO *et al.* (2001), optou-se por adotar como referência este último, por ser o mais bem documentado, permitindo a determinação dos 4 parâmetros necessários à avaliação no espaço 2D. Os pontos utilizados correspondem à 9 estações da RBMC, sendo Bom Jesus da Lapa (BOMJ), Brasília (BRAZ), Cuiabá (CUIB), Fortaleza (FORT), Imperatriz (IMPZ), Manaus (MANA), Curitiba (PARA), Presidente Prudente (UEPP) e Viçosa (VICO), e uma estação determinada na primeira campanha SIRGAS – Cachoeira Paulista (CACH). As coordenadas em SAD 69 foram determinadas pelos autores do referido trabalho, enquanto as em SIRGAS foram extraídas pelos mesmos do Relatório divulgado pela Fundação IBGE em 1997.

Os ajustamentos para a determinação dos parâmetros 2D e 3D foram realizados pelo MMQ. Todos os parâmetros estimados encontram-se em um quadro resumo apresentado na TABELA 03.

TABELA 03 - PARÂMETROS DE TRANSFORMAÇÃO EMPREGADOS

SISTEMAS		ESPAÇOS	MODELOS	PARÂMETROS
S A D 6 9	C Ó R R E G O A L E G R E	2D	2P	$\Delta\phi = -0,52420''$; $\Delta\lambda = -0,72150''$
			4P	$\Delta\phi = -0,27334''$; $\Delta\lambda = -3,89400''$; esc = -16,45700 ppm; rot = -1,65832''
		3D	3P	Tx = 141,86273 m; Ty = -171,40333 m; Tz = -33,18548 m
			7P	Tx = 163,33851 m; Ty = -169,23688 m; Tz = -12,75815 m; E = -1,08830 ppm; Rx = -0,46704''; Ry = -0,62353''; Rz = 0,53726''
	W G S	2D	2P	$\Delta\phi = -1,69320''$; $\Delta\lambda = -1,60930''$
		8 4	3D	3P
	S I R G A S	2D	4P	$\Delta\phi = -1,57202''$; $\Delta\lambda = -0,46183''$; esc = 5,98577 ppm; rot = 0,37095''
		3D	7P	Tx = -66,79793 m; Ty = 3,59026 m; Tz = -38,13946 m; E = -0,09100 ppm; Rx = -0,62292''; Ry = -0,93025''; Rz = 0,30733''

3. IMPLEMENTAÇÃO E VALIDAÇÃO

Para o desenvolvimento da pesquisa foram necessárias as implementações de programas visando: 1) a determinação de parâmetros que atendessem aos espaços 3D e 2D para os sistemas adotados; 2) a execução de todos os processos de transformação propostos; 3) a análise dos resultados obtidos, tanto para os indicadores quanto para sua comprovação. Os programas foram desenvolvidos na linguagem *Fortran*, empregando-se o compilador *Lahey Fortran 90*, versão 4.50, em uso no IBGE.

4. TESTES E RESULTADOS

4.1. ENFOQUE DOS TESTES

Os testes e as análises foram realizados de maneira análoga tanto para os indicadores quanto para a comprovação dos mesmos. A avaliação da mudança de espaço foi baseada nas distâncias (ou afastamentos ou deslocamentos) entre as coordenadas transformadas pelo processo em 2D e pelo processo em 3D, para uma mesma estação em um mesmo sistema geodésico, explicitado na TABELA 04. Em relação à restrição ao espaço 3D, foram determinados os afastamentos entre os resultados da transformação, de forma semelhante à anterior, para as coordenadas obtidas com h igual a zero – restrição – e com h igual a 3.000 metros – valor considerado real, conforme TABELA 05. Avaliou-se também o impacto altimétrico, através do emprego dos valores de altitude estimados no processo de transformação.

TABELA 04 – MUDANÇA DO ESPAÇO 3D → 2D

Modelos	Sistemas		Impacto da Mudança do Espaço (Distância)
	Origem	Destino	
3P e 2P	SAD 69	CA e WGS 84	3D (φ_0, λ_0) \Leftrightarrow 2D (φ, λ)
			3D ($\varphi_{3000}, \lambda_{3000}$) \Leftrightarrow 2D (φ, λ)
7P e 4P	SAD 69	CA e SIRGAS	3D (φ_0, λ_0) \Leftrightarrow 2D (φ, λ)
			3D ($\varphi_{3000}, \lambda_{3000}$) \Leftrightarrow 2D (φ, λ)

TABELA 05 – RESTRIÇÃO AO ESPAÇO 3D

Restrição 3D	Sistemas		Impacto nas Coordenadas Transformadas	
	Origem	Destino	Planimétricas	Altimétricas
3P	SAD 69	CA e WGS 84	3D ($\varphi_{3000}, \lambda_{3000}$) \Leftrightarrow 3D (φ_0, λ_0)	$h'_{3000} - h'_0$
7P	SAD 69	CA e SIRGAS	3D ($\varphi_{3000}, \lambda_{3000}$) \Leftrightarrow 3D (φ_0, λ_0)	$h'_{3000} - h'_0$

As distâncias referem-se às Linhas Geodésicas (LG). Em função do seu comprimento, pode-se aproximar a LG pela resultante (hipotenusa) do triângulo retângulo formado pelo arco de meridiano e pelo arco de paralelo, dada pela expressão (01):

$$D = (\Delta\varphi^2 \cdot M^2 + \Delta\lambda^2 \cdot \cos^2\varphi_m \cdot N^2)^{1/2} \quad (01)$$

onde: $\Delta\varphi = \varphi_{3D} - \varphi_{2D}$ ou $\varphi_{3D} - \varphi_{3D\text{restrição}}$;
 $M = a \cdot (1 - e^2) / W^3$;
 $\Delta\lambda = \lambda_{3D} - \lambda_{2D}$ ou $\lambda_{3D} - \lambda_{3D\text{restrição}}$;
 $\varphi_m = (\varphi_{3D} + \varphi_{2D}) / 2$ ou $(\varphi_{3D} + \varphi_{3D\text{restrição}}) / 2$;
 $N = a / W$;
 $W = (1 - e^2 \cdot \text{sen}^2(\varphi_m))^{1/2}$;

sendo: D_j a diferença em latitude;
 D_l a diferença em longitude;
 M o raio de curvatura meridiana;
 N o raio de curvatura 1° vertical;
 j_m a latitude média;
 $a; e^2$ parâmetros do elipsóide associado ao sistema geodésico.

4.2. RESULTADOS

Não se pretendeu, em momento algum, comparar os modelos de transformação vinculados ao mesmo espaço – ou seja, entre 2 e 4 parâmetros e entre 3 e 7 parâmetros – ou analisar as precisões alcançadas com o uso dos mesmos, mas sim avaliar as diferenças nas metodologias referentes aos espaços 2D e 3D – entre 2 e 3 parâmetros e entre 4 e 7 parâmetros, como descrito na introdução.

4.2.1 Indicadores

Os resultados encontrados para a mudança do espaço, considerando 3P x 2P e 7P x 4P são apresentados na TABELA 06. Na TABELA 07 são apresentadas as variações no deslocamento planimétrico ocasionadas pela mudança altimétrica. Os valores obtidos para as componentes altimétricas (h') transformadas aparecem na TABELA 08, comprovando a hipótese de ANCIÃES & OLIVEIRA (2001) apresentada no item 1: $h'_{3000} - h'_0 \cong 3.000$ metros.

TABELA 06 – RESUMO DOS INDICADORES NA MUDANÇA DO ESPAÇO

Parâmetros	Sistemas	Valores		Valores
		Máximos	Mínimos	
2P x 3P	SAD 69 → CA	105,00 m	36,00 m	69,00 m
	SAD 69 → WGS 84	17,90 m	5,60 m	12,30 m
4P x 7P	SAD 69 → CA	88,4 m	19,9 m	68,5 m
	SAD 69 → SIRGAS	6,8 m	0,6 m	6,2 m

TABELA 07 – VARIAÇÃO DO DESLOCAMENTO PLANIMÉTRICO DEVIDO À VARIAÇÃO ALTIMÉTRICA

Parâmetros	Sistemas	P. Norte	P. Oeste	P. Leste	P. Central	P. Sul
2P x 3P	CA	2,21 cm	4,00 cm	3,05 cm	0,79 cm	0,82 cm
	WGS 84	0,67 cm	0,97 cm	2,35 cm	0,44 cm	3,06 cm
4P x 7P	CA	1,65 cm	3,95 cm	0,65 cm	1,25 cm	2,19 cm
	SIRGAS	3,11 cm	0,89 cm	2,22 cm	2,75 cm	0,35 cm

TABELA 08 – VALORES DAS ALTURAS TRANSFORMADAS

Parâmetros		3P		7P	
Sistemas		CA	WGS 84	CA	SIRGAS
P.Norte	h'_0	-11.67 m	-17.44 m	-8.00 m	-17.28 m
	h'_{3000}	2988.33 m	2982.56 m	2992.00 m	2982.72 m
P.Oeste	h'_0	-17.30 m	3.05 m	-22.20 m	3.18 m
	h'_{3000}	2982.70 m	3003.05 m	2977.80 m	3003.18 m
P.Leste	h'_0	-9.20 m	-28.38 m	-2.78 m	-28.51 m
	h'_{3000}	2990.80 m	2971.62 m	2997.21 m	2971.49 m
P.Central	h'_0	0.78 m	-9.28 m	-0.55 m	-9.30 m
	h'_{3000}	3000.78 m	2990.72 m	2999.44 m	2990.70 m
P.Sul	h'_0	3.16 m	7.87 m	-5.78 m	7.65 m
	h'_{3000}	3003.17 m	3007.87 m	2994.22 m	3007.65 m

Observa-se que as diferenças nos deslocamentos planimétricos encontrados entre os resultados obtidos na mudança do espaço (2D e 3D), considerando uma variação de 3.000 metros para h , não ultrapassam 4 centímetros. Esta variação é consequência dos processamentos, e, como demonstrado por ANCIÃES & OLIVEIRA (2001), o erro produzido por h recai sobre seu próprio valor transformado (h').

4.2.2 Comprovação

A questão da restrição ao espaço 3D foi avaliada para o conjunto de 46 arquivos representativos da Carta Internacional ao Milionésimo – CIM, juntamente com a comprovação dos resultados apontados pelos indicadores. Os 241.001 pontos de cada arquivo, identificados ao longo dos paralelos e meridianos, apresentaram um comportamento uniforme dentro dos mesmos, determinando-se assim os valores máximos e mínimos, tanto para a análise em relação à mudança do espaço quanto para a restrição 3D. Estes valores podem ser observados nas TABELAS 09 e 10.

TABELA 09 – QUADRO RESUMO DA MUDANÇA DO ESPAÇO

<i>Parâmetros</i>	<i>Sistemas</i>	<i>Valor Máximo (metros)</i>	<i>Valor Mínimo (metros)</i>	<i>Intervalo</i>
2P x 3P	SAD 69 → CA	126,4 m	11,2 m	≅ 115 m
	SAD 69 → WGS 84	22,1 m	0,1 m	22 m
4P x 7P	SAD 69 → CA	108,1 m	18,6 m	≅ 90 m
	SAD 69 → SIRGAS	8,6 m	0,1 m	≅ 9 m

TABELA 10 – QUADRO RESUMO DOS RESULTADOS OBTIDOS PARA A RESTRIÇÃO 3D

<i>Parâmetros</i>	<i>Sistemas</i>	<i>Variação planimétrica</i>		<i>Intervalo</i>
		<i>Valor Máximo (centímetros)</i>	<i>Valor Mínimo (centímetros)</i>	
2P x 3P	SAD 69 → CA	5,1 cm	0,4 cm	≅ 5 cm
	SAD 69 → WGS 84	3,6 cm	2,5 cm	≅ 1 cm
4P x 7P	SAD 69 → CA	5,9 cm	0,4 cm	≅ 6 cm
	SAD 69 → SIRGAS	3,6 cm	2,5 cm	≅ 1 cm

4.2.3 Avaliação

Ao comparar-se os resultados obtidos para os indicadores com os obtidos para sua comprovação, mostrados nas FIGURA 02 a 05, observa-se a coerência entre os mesmos, ratificando as tendências encontradas em relação à mudança espacial – 3D para 2D – nos processos de transformação avaliados. E, mesmo que alguns resultados tenham ficado na ordem dos centímetros, deve-se destacar que são restritos a certas áreas do país, em oposição a valores de até 100 metros ou mais. Neste aspecto, ao adotar-se uma metodologia e parâmetros únicos para efetuar transformações entre Redes Geodésicas brasileiras, todos os resultados encontrados precisam ser considerados para a análise da real viabilidade do seu emprego. Estudos de caso considerando áreas restritas do território nacional podem levar a interpretações distorcidas, dependendo da sua aplicação.

O deslocamento planimétrico encontrado na avaliação da restrição ao espaço 3D não ultrapassou os 6 centímetros. Sendo um valor já esperado, função do resultado obtido para a variação altimétrica na mudança do espaço, só não foi igual ao mesmo por questões numéricas. A coordenada *h* transformada deve ser ignorada, pois o erro proveniente da variação altimétrica permanece nesta.

FIGURA 02 – INDICADORES x CIM: CA (2P x 3P)

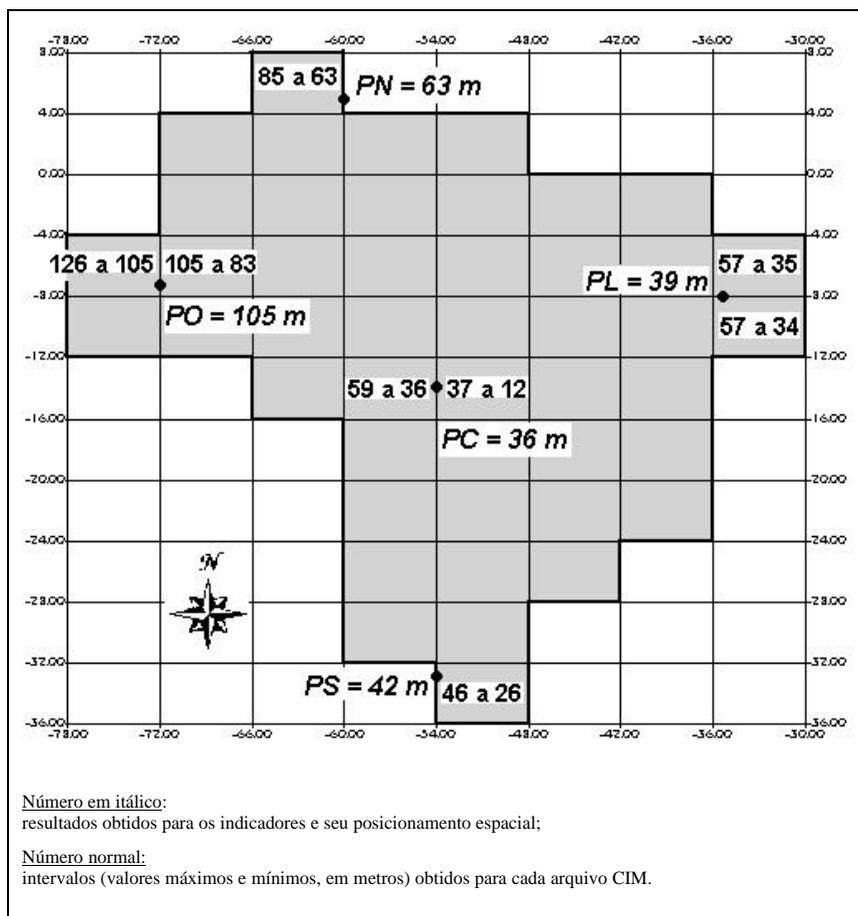


FIGURA 03 – INDICADORES x CIM: WGS 84 (2P x 3P)

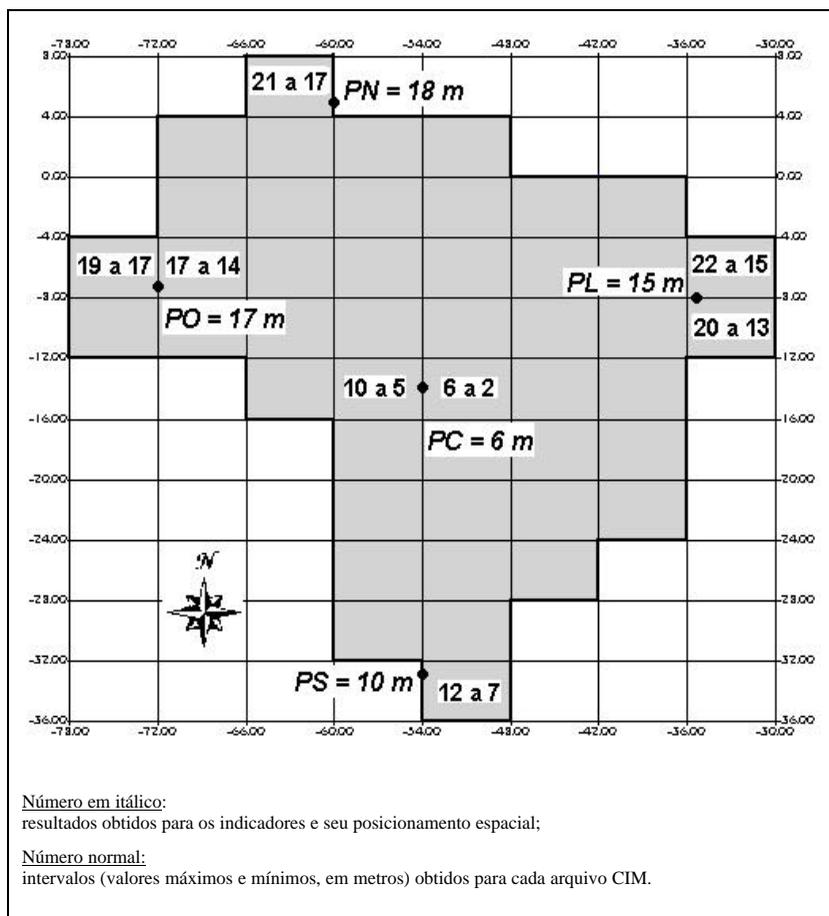


FIGURA 04 – INDICADORES x CIM: CA (4P x 7P)

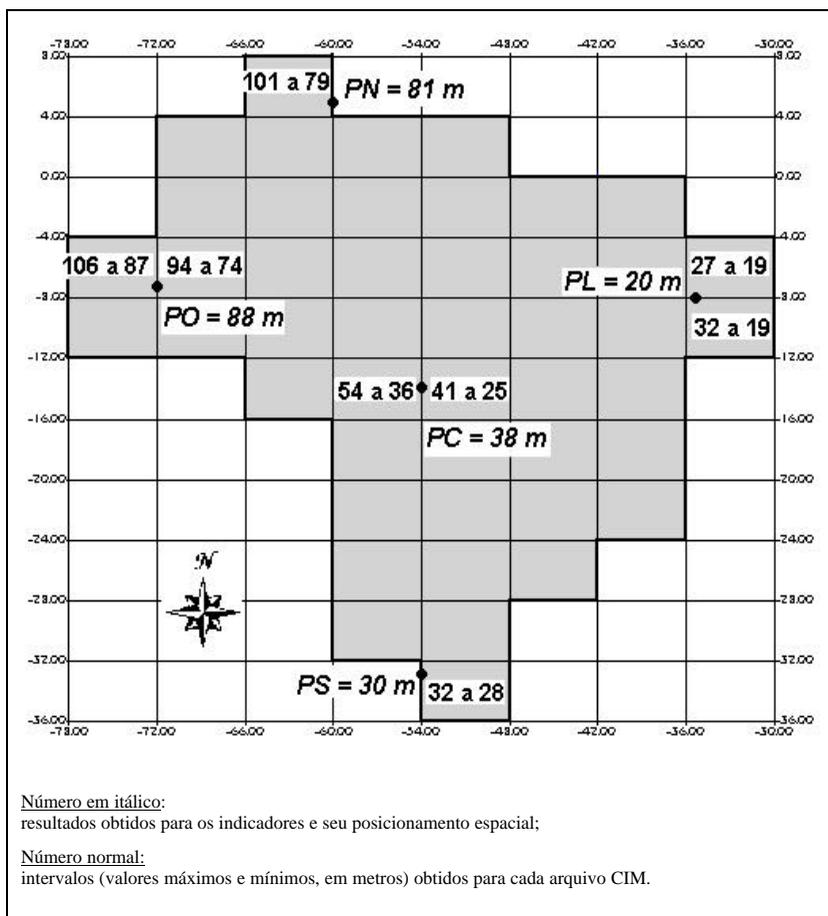
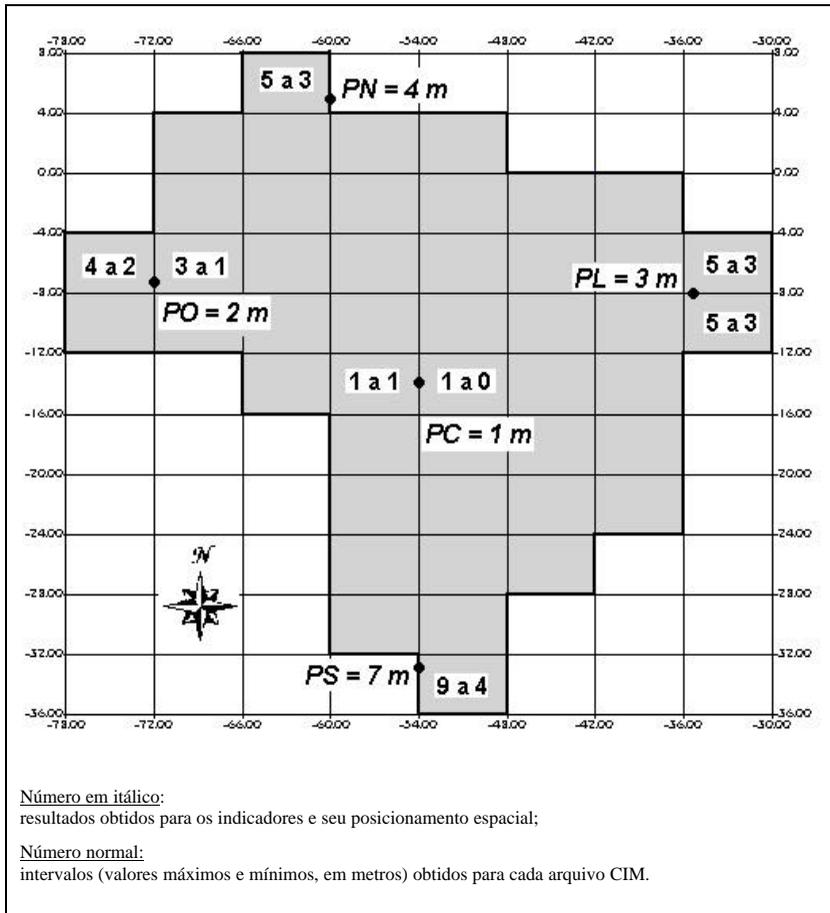


FIGURA 05 – INDICADORES x CIM: SIRGAS (4P x 7P)



5. CONCLUSÕES

Para todas as condições consideradas no âmbito deste trabalho, referentes aos parâmetros, modelos, metodologia, arquivos, programas e sistemas geodésicos, e em virtude dos resultados obtidos, pode-se concluir que:

a) O emprego da restrição ao espaço 3D é o procedimento a ser utilizado para a Geodésia, no caso de desconhecimento da altura geométrica (h) das estações a serem transformadas. É importante alertar que, para a adoção deste procedimento, deve-se desconsiderar os valores transformados de h , uma vez que o erro decorrente da

variação altimétrica é absorvido por esta componente, usando-se apenas a componente planimétrica. Endossam-se, assim, as recomendações do IBGE (IBGE, 1995);

b) O emprego da mudança do espaço no processo de transformação pode ser viável, teoricamente, para os contextos geodésico e cartográfico, dependendo, para isso, da realização de uma análise apropriada para a aplicação a que se destine. Na prática, porém, não é recomendável pois resultaria em uma solução particular, que poderia vir a comprometer a homogeneidade das informações em território nacional. Além de exigir detalhamento em relação à sua documentação, o que possibilitaria sua recuperação quando fosse o caso, dependeria diretamente da qualificação e preparo do profissional que a utilizasse;

c) O procedimento de transformação deve ser único para todo o Brasil, pois a particularização da transformação para áreas distintas interfere na homogeneidade dos resultados e, conseqüentemente, na consistência das informações georreferenciadas, promovendo sua segmentação. A variação dos resultados apresentados para todo o território nacional evidencia este fato.

Recomenda-se, então, que sejam usados a metodologia e os parâmetros divulgados pelo IBGE para a execução da transformação entre os sistemas relacionados pela mesma até que se apresente outra, possivelmente a partir da implementação do referencial geocêntrico proposta por esta instituição. Caso o valor da altura geométrica seja desconhecido, deve-se considerá-lo igual a zero, descartando-se o valor final (transformado) da componente altimétrica.

Estas medidas contribuem para a padronização dos procedimentos brasileiros, promovendo a preparação da comunidade para a adoção de um sistema de referência geocêntrico.

6. REFERÊNCIAS

ANCIÃES, C.L.C. **Transformação entre Redes Geodésicas: Uso de Coordenadas 3D, 3D com Restrição e 2D**. Rio de Janeiro, 2003. 121f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Cartográfica). Departamento de Engenharia Cartográfica. Instituto Militar de Engenharia.

ANCIÃES, C.L.C. & OLIVEIRA, L.C. Indicador de Exatidão e Precisão das Coordenadas SAD 69 Obtidas por GPS.

In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, 20., 2001, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: CBC, 2001. (Anais eletrônicos).

BLITZKOW, D. & LAZZARO, A.C. Parâmetros de Transformação de Sistemas Geodésicos: SAD 69 – Córrego Alegre.

In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHEIROS CARTÓGRAFOS, 5., 1988, Presidente Prudente. **Anais...** Presidente Prudente: ENECART, 1988. p. 16-25.

CASTRO, A.L.P. *et al.* Estimativa de Parâmetros de Transformação entre Sistemas Geodésicos: Estudo do Caso SAD 69 e SIRGAS. **Série em Ciências Geodésicas**, Curitiba, v. 1, p. 62-81, 2001.

COSTA, S.M.A. **Integração da Rede Geodésica Brasileira aos Sistemas de Referência Terrestres**. Curitiba, 1999. 156f. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas). Departamento de Geomática. Universidade Federal do Paraná.

COSTA, S.M.A.; PEREIRA, K.D.P.; BEATTIE, D.S. A Integração da Rede Geodésica Brasileira ao SIRGAS: Resultados Preliminares. **GeoConvergência**, Brasil, v. 2, n. 1, p. 17-24, 1999.

DAWSON, J. & STEED, J. **International Terrestrial Reference Frame to GDA 94 Coordinate Transformations**. Technical Report – AUSLIG. Disponível em: <<http://www.auslig.gov.au/geodesy/datums/docs/gda-itrfr.pdf>>
Acesso em: 22 mar. 2002.

FORTES, L.P.S., CAGNIN, I.F., GODOY, R.A.Z. Determinação dos Parâmetros de Transformação entre os sistemas NWL-10D, NSWC-9Z2, WGS 84 e o SAD 69.
In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, 14., 1989, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: CBC, 1989. v.1, p.157-165.

IBGE. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Proposta Preliminar para Adoção de um Referencial Geocêntrico no Brasil**. Disponível em: <<http://www.ibge.net/ibge/geografia/geodesico/download/sisref.pdf>>
Acesso em: 12 jan. 2002.

IBGE. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Especificações e Normas Gerais para Levantamentos Geodésicos** – Coletânea Vigente. Rio de Janeiro: IBGE/Departamento de Geodésia, 1995. 65 p.

OLIVEIRA, L.C. **Realizações do Sistema Geodésico Brasileiro Associadas ao SAD 69: Uma Proposta Metodológica de Transformação**. São Paulo, 1998. 197f. Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

SEEBER, G. **Satellite Geodesy: foundations, methods and applications**. Berlin, New York, 1993, 531 p.

SOLER, T. A compendium of transformation formulas useful in GPS work. **Journal of Geodesy**, v.72, p.782-490, April 1998.

EFEITO DO MULTICAMINHO NAS MEDIDAS DE FASE E PSEUDODISTÂNCIA GPS: DETECCÃO E ATENUAÇÃO UTILIZANDO WAVELETS

Eniuce Menezes de Souza¹
João Francisco Galera Monico²

1 Universidade Estadual Paulista – eniuce@prudente.unesp.br

2 Universidade Estadual Paulista – galera@prudente.unesp.br

RESUMO

O GPS tem mostrado ser capaz de apoiar uma grande variedade de aplicações. Porém, algumas aplicações enfrentam um obstáculo, ou seja, o efeito do multicaminho, o qual é o fenômeno pelo qual um sinal chega à antena do receptor por caminhos múltiplos, devido à reflexão. O multicaminho distorce a modulação do sinal e degrada a acurácia nos sistemas convencional e diferencial. Multicaminho também distorce a fase da portadora e, conseqüentemente, degrada a acurácia dos sistemas baseados na fase. Além disso, vários sistemas empregam freqüentemente medidas de pseudodistância para inicialização (resolução da ambigüidade). Como o multicaminho contamina a pseudodistância, o intervalo de tempo requerido para a inicialização pode aumentar. Desta forma, é de grande importância dispor de meios que possam atenuar esse efeito. Uma possibilidade que comparece na literatura diz a respeito a utilização das duplas diferenças das observáveis GPS (fase e pseudodistância), utilizando uma poderosa ferramenta para o estudo de sinais: a transformada de *wavelets*. Esta transformada decompõe o sinal (duplas diferenças) separando as altas freqüências, onde se encontra o efeito de multicaminho, das baixas freqüências (identidade do sinal). Após o processo de decomposição, utilizando os coeficientes *wavelets*, o sinal pode ser reconstruído sem o efeito de multicaminho. Este procedimento será descrito neste artigo.

Palavras-chave: Multicaminho; Análise Espectral; Transformada de *Wavelet*

ABSTRACT

GPS has been shown to be capable of supporting a wide variety of applications. However, some applications face a major problem. It is the effect of multipath, with is a phenomenon whereby a signal arrives at a receiver via multiple paths. The multipath distorts the signal modulation and degrades accuracy in conventional and

differential systems. Multipath also distorts the phase of the carrier, and hence degrades the accuracy of the phase-based systems. Furthermore, because phase-based systems often employ pseudorange for initialization (ambiguity resolution) purposes, multipath contamination of the pseudorange can increase the time required for initialization. A possibility that appears in literature refers to the use of the double differences GPS observables (carrier and pseudorange). In this possibility, wavelet transform is used as a powerful tool to study the signals. The double difference observation is split into approximation (low-frequency part), and multipath is revealed in detail (high-frequency part). After the decomposition process, using the coefficients wavelets, the signal can be reconstructed without the multipath effect. This procedure will be described in this paper.

Keywords: Multipath; Spectral Analysis; Wavelet Transform

1. INTRODUÇÃO

O sistema GPS possui abrangência global, como o próprio nome sugere. Dessa forma, são muitas as suas aplicações. Pode-se citar, dentre outras, navegação, agricultura e posicionamento geodésico, todas relacionadas com o objetivo primordial do GPS, que é determinar as coordenadas dos objetos de interesse.

O posicionamento de alta precisão requer observações acuradas. Mas, existem alguns efeitos que influenciam na precisão e acurácia dos dados GPS. Dentre esses efeitos, estão aqueles que afetam a qualidade do sinal durante sua propagação entre o satélite e a antena do receptor, se destacando, a refração atmosférica, perdas de ciclos e multicaminho (MONICO, 2000). Neste trabalho a investigação principal estará direcionada ao multicaminho. Para os demais efeitos, pode-se consultar (MONICO, 2000; SAPUCCI, 2001; SEEBER, 1993).

A aplicação do método diferencial (duplas diferenças) reduz erros, como por exemplo, do relógio do satélite, da órbita e da atmosfera, menos o multicaminho. Para sistemas diferenciais baseados no código, a degradação do sinal devido ao multicaminho pode ser severa. Isto provém do fato que o multicaminho é um fenômeno altamente localizado. As fontes de multicaminho que afetam o receptor de uma estação de referência, necessariamente, não causam erros em um receptor móvel. Da mesma forma que as fontes de multicaminho que afetam o receptor móvel não afetam a estação de referência (BRAASCH, 1996). Assim, O multicaminho se encaixa no grupo de erros ditos não-comuns. E ainda, tanto para aplicações estacionárias ou cinemáticas, as características desconhecidas no caminho dos sinais direto e refletido tornam impraticável a tarefa de modelagem e previsão do multicaminho.

Além disso, embora os sinais com multicaminho tenham instante de emissão comum no satélite, eles chegam com código e fase da portadora defasados devido às diferentes reflexões durante o longo caminho, afetando assim, a qualidade do posicionamento.

Nesse sentido, várias técnicas têm sido desenvolvidas para atenuar o multicaminho, dentre elas, algumas tentam reduzir a intensidade dos sinais secundários preservando o sinal direto. Em outras palavras, isolam o sinal direto. Outras técnicas reduzem os efeitos de multicaminho utilizando processamentos de sinais em tempo real dentro do receptor (WEILL, 1997).

Uma outra opção está na mitigação do multicaminho usando técnicas de *software*, as quais incluem aproximações paramétricas e técnicas de filtragem que lidam com as observações durante o estágio de processamento dos dados. Uma possibilidade está ao nível de observações de duplas diferenças. Xia (2001) apresentou um trabalho no ION 2001 sobre essa possibilidade. As duplas diferenças são tratadas através da transformada de *wavelets*, na qual o sinal (duplas diferenças) é decomposto, separando as altas frequências, onde se encontra o efeito de multicaminho, das baixas frequências (identidade do sinal). Após o processo de decomposição, utilizando os coeficientes *wavelets*, o sinal pode ser reconstruído sem o efeito de multicaminho.

Dessa forma, o objetivo deste artigo é descrever o problema do multicaminho, bem como sua influência nas medidas de fase da portadora e pseudodistância. Além disso, pretende-se apresentar alguns métodos de mitigação do multicaminho existentes na literatura, mas, em especial a transformada *wavelets*.

O conteúdo deste artigo está organizado em 5 seções. Na seção 1 apresentou-se o problema e os objetivos. A seção 2 descreve brevemente as observáveis GPS. A seção 3 é dedicada ao problema do multicaminho e sua influência nas medidas de fase da onda portadora e pseudodistância. Já na seção 4 são apresentadas algumas técnicas de mitigação do multicaminho, em especial a transformada de *wavelets*. Nesta seção também é descrita a decomposição do sinal através da análise de multiresolução para a eliminação do multicaminho do posicionamento relativo. Finalmente, na seção 5 compõem algumas considerações finais e desenvolvimentos futuros.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA SOBRE AS OBSERVÁVEIS GPS

De importância fundamental para o desenvolvimento deste trabalho são as observáveis pseudodistância e fase de batimento da onda portadora, as quais são brevemente apresentadas a seguir.

2.1. PSEUDODISTÂNCIA

A pseudodistância (PD_r^s) medida por um receptor r para um satélite s em uma dada época t pode ser expressa por:

$$PD_r^s = \mathbf{r}_r^s + c(dt_r - dt^s) + I_r^s + T_r^s + dm_{PD_r^s} + \mathbf{e}_{PD_r^s} \quad (01)$$

onde:

- dt_s é o erro do relógio do satélite em relação ao tempo GPS no instante de transmissão;
- dt_r é o erro do relógio do receptor em relação ao tempo GPS no instante de recepção;
- c é a velocidade da luz no vácuo;
- \mathbf{r}_{rs} é a distância geométrica entre o satélite s no instante de transmissão do sinal e o receptor r no instante de recepção;
- I_{rs} e T_{rs} são os atrasos devidos a propagação da ionosfera e troposfera;
- $dm_{PD_{rs}}$ é o erro de multicaminho da pseudodistância; e
- $\mathbf{e}_{PD_{rs}}$ é o erro da pseudodistância devido a efeitos não modelados e aleatórios.

2.2. FASE DE BATIMENTO DA ONDA PORTADORA

A fase da onda portadora $\mathbf{j}_r^s(t)$ é igual à diferença entre a fase do sinal do satélite, recebido no receptor (\mathbf{j}^s), e a fase do sinal gerado no receptor (\mathbf{j}_r), ambas no instante de recepção t . A fase observada (\mathbf{j}_r^s), em ciclos, é dada por (MONICO, 2000):

$$\mathbf{j}_r^s(t) = f \left(\frac{\mathbf{r}_r^s - I_r^s + T_r^s + dm_{\mathbf{j}_r^s}}{c} \right) + f(dt_r - dt^s) + [\mathbf{j}^s(t_0) - \mathbf{j}_r(t_0)] + N_r^s + \mathbf{e}_{\mathbf{j}_r^s} \quad (02)$$

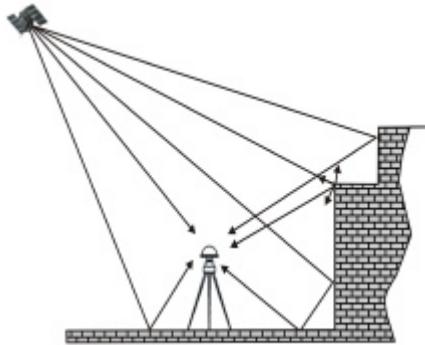
onde:

- f é a frequência nominal da fase e λ é o correspondente comprimento de onda;
- $\mathbf{j}^s(t_0)$ é a fase inicial no satélite, correspondente à época de referência t_0 ;
- $\mathbf{j}_r(t_0)$ é a fase recebida no receptor, correspondente à época de referência t_0 ;
- N_r^s é a ambigüidade da fase;
- $dm_{\mathbf{j}_r^s}$ é o erro de multicaminho da fase; e
- $\mathbf{e}_{\mathbf{j}_r^s}$ é o erro da fase da portadora.

3. O PROBLEMA DO MULTICAMINHO

O efeito provocado pelo multicaminho é bem descrito pelo próprio nome: o sinal emitido pelo satélite pode chegar ao receptor, em algumas circunstâncias, por mais que um caminho (Figura 02). O multicaminho é causado principalmente por reflexões do sinal em superfícies próximas do receptor, tais como construções, carros, árvores, colinas etc (MONICO, 2000). Efeitos secundários são causados por reflexões no próprio satélite e durante a propagação do sinal (HOFMANN-WELLENHOF, 1997). O multicaminho no satélite geralmente é cancelado com as observações de simples diferença para linhas de bases curtas.

FIGURA 02 – ILUSTRAÇÃO DO EFEITO DO MULTICAMINHO



O sinal refletido é geralmente mais fraco que o sinal direto devido à atenuação no objeto refletor (mas podendo ser mais forte se o objeto refletor for muito grande ou se houver obstrução do sinal). Essa atenuação depende do material do refletor, do ângulo incidente da reflexão e da polarização do sinal. Em geral, reflexões com ângulos de incidência muito baixos, praticamente não sofrem atenuações. Esta é uma das explicações para o fato de satélites a baixos ângulos de elevação gerarem fortes incidências de multicaminho (LEICK, 1995).

Devido aos diferentes tipos de superfícies refletoras, o multicaminho pode se dividir em três categorias (MOELKER, 1997):

- **Reflexão especular**, proveniente da reflexão em uma superfície suave (lisa), sendo que a frente de onda resultante é uma cópia atrasada do sinal direto, diferindo deste apenas em fase e amplitude;
- **Difração**, proveniente de reflexões nas bordas ou cantos dos objetos refletoras;
- **Multicaminho difuso**, proveniente da reflexão em superfícies rugosas, semelhante a várias reflexões especulares.

Segundo Comp e Axelrad (1996), o multicaminho especular é o mais limitante na maioria das aplicações que usam a fase das portadoras e suas diferenças, sendo responsável por, pelo menos, 90% dos erros nas medidas de diferença de fase, e é dominante em aplicações de alta precisão. O multicaminho especular caracteriza-se em relação à linha direta através da razão de amplitude, atraso na propagação (em nanossegundos) e rotação da fase (em rad), podendo vários sinais secundários estar presentes (FARRET, 2000).

3.1. EFEITO DO MULTICAMINHO NA FASE DA ONDA PORTADORA E PSEUDODISTÂNCIA

O multicaminho causa erros nas medidas da pseudodistância e da fase da onda portadora, dependendo da geometria do cenário que envolve a(s) antena(s), o(s) satélite(s) e o(s) objeto(s) refletor(es) e da natureza do material reflexivo (FARRET, 2000). O impacto dos sinais refletidos nessas observáveis depende ainda de uma variedade de fatores, tais como a força e o atraso do sinal refletido comparado com o sinal direto, as características de atenuação da antena e a sofisticação das técnicas de medida e processamento do receptor. Conseqüentemente, a posição do objeto de interesse terá sua acurácia deteriorada.

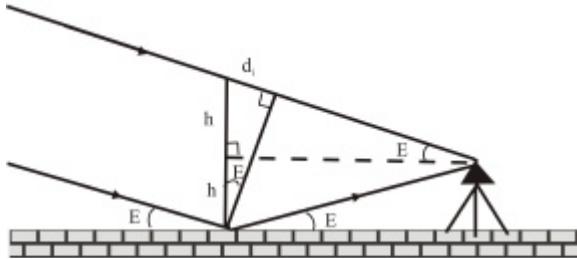
A influência do multicaminho na medida da fase da onda portadora é a principal limitação para a obtenção de alta acurácia no posicionamento relativo estático e cinemático com GPS, pois esse efeito pode impedir a fixação das ambigüidades, ou conduzir a uma solução incorreta das mesmas.

O erro máximo do multicaminho para a fase da onda portadora é 1/4 do comprimento de onda. Entretanto, esse valor pode ser maior se forem feitas combinações lineares. E ainda, como o sinal refletido sofre um atraso, o sinal recebido no receptor tem fase relativa deslocada e a diferença de fase é proporcional à diferença de comprimento dos caminhos secundários. O deslocamento da fase Dj pode ser expresso em função da variação no comprimento do caminho secundário d_i . No caso de um refletor horizontal (chão) tem-se:

$$\Delta j = \frac{1}{\lambda} d_i = \frac{2h}{\lambda} \sin E \quad (03)$$

onde Dj é expresso em ciclos, h é a altura vertical entre a antena e o chão e E é a elevação do satélite, como ilustrado na figura 03.

FIGURA 03 - GEOMETRIA DO MULTICAMINHO PARA UM REFLETOR HORIZONTAL



Derivando Dj em relação a t , tem-se a frequência do multicaminho devido à reflexão em uma superfície horizontal:

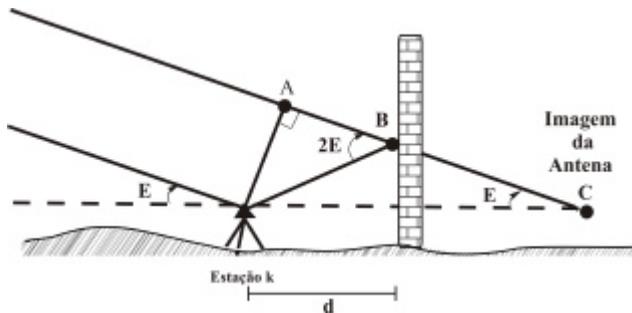
$$f = \frac{d(\Delta j)}{dt} = \frac{2h}{l} \cos E \frac{dE}{dt} \tag{04}$$

Substituindo valores típicos como $E = 45^\circ$ e $dE/dt = 0.07 \text{ mrad}$ por segundo tem-se aproximações para a portadora L1 e L2, respectivamente:

$$f_1 = 0,521 \times 10^{-3} h \quad \text{e} \quad f_2 = 0,00405 \times 10^{-3} h$$

onde as frequências são obtidas em Hz se h é dada em metros (HOFMANN-WELLENHOF, 1997). Agora, para analisar a influência da distância (d) entre o objeto refletor e a antena no estudo do multicaminho, deve-se observar a figura 04.

FIGURA 04 – GEOMETRIA PARA REFLEXÃO EM UMA SUPERFÍCIE PLANA VERTICAL



Note que, neste caso, o atraso devido ao multicaminho d_i é dado pela soma das distâncias AB e BC. Convertendo essa soma em ciclos, tem-se:

$$\Delta j = \frac{1}{l} d_i = \frac{2d}{l} \cos E \tag{05}$$

Derivando a equação (05) obtém-se a frequência do multicaminho devido à reflexão em uma superfície plana vertical:

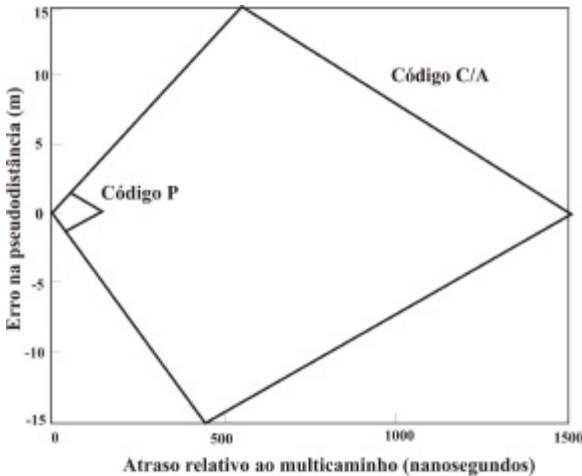
$$f = \frac{d(\Delta j)}{dt} = \frac{2d}{\lambda} \text{sen} E \frac{dE}{dt}. \quad (06)$$

Dessa forma, a frequência do multicaminho é proporcional à distância perpendicular entre a superfície refletora e a antena, e inversamente proporcional ao comprimento de onda, além de ser função do ângulo de elevação do satélite. Desde que o satélite esteja continuamente se movimentando, a frequência do multicaminho também é função do tempo (LEICK, 1995).

No que concerne ao multicaminho na pseudodistância, o comportamento é similar ao da fase da onda portadora, mas a variação apresenta ordem de magnitude várias vezes maior.

Além disso, o multicaminho para a pseudodistância é relacionado com a taxa de transmissão do código e é função dos comprimentos dos códigos. A taxa de transmissão do código estabelece um limite natural para o multicaminho máximo, pois quanto mais alta, menor o multicaminho máximo. Dessa forma, o multicaminho para o código P (taxa de transmissão 10,23 MHz) é menor que para o código C/A (taxa de transmissão 1,023 MHz) (LEICK, 1995). Na figura 05 pode-se observar os erros na pseudodistância para os códigos P e C/A relativos a amplitude e ao atraso devido ao multicaminho (BRAASH, 1996).

FIGURA 05 – ERRO DEVIDO AO MULTICAMINHO PARA OS CÓDIGOS C/A E P COM AMPLITUDE RELATIVA A MULTICAMINHO DE -20 DB



Fonte: Braash, 1996.

Ainda na figura 05, a amplitude relativa ao multicaminho é constante (-20 dB) e a curva superior representa o erro devido ao sinal secundário em fase com o sinal direto, enquanto a curva inferior representa o caso fora de fase. Note também que para um sinal com multicaminho fraco (-20 dB), o pico do erro é 15 m.

4. MITIGAÇÃO DO MULTICAMINHO

Várias técnicas de redução de multicaminho têm sido desenvolvidas, dentre elas, algumas utilizam a geometria de propagação do sinal. Estas técnicas incluem o uso de antenas especiais (como a *choke-ring*), processamento espacial com arranjo de várias antenas, estratégia de localização da antena e observação do sinal por longo intervalo de tempo para deduzir os parâmetros do multicaminho auxiliado pela mudança da geometria de reflexão. Alguns desses métodos tentam reduzir a intensidade dos sinais secundários preservando o sinal direto, em outras palavras, isolam o sinal direto (WEILL, 1997).

Outras técnicas, muito promissoras, reduzem os efeitos de multicaminho utilizando processamentos de sinais em tempo real dentro do receptor (WEILL, 1997). Esta nova, e atraente tecnologia envolve pesquisa e desenvolvimento dos principais fabricantes de receptores que muitas vezes apresentam os resultados de seus métodos sem revelar explicitamente seus segredos. Além disso, a utilização de tais receptores, envolve custos, que geralmente não são acessíveis aos usuários de uma forma em geral.

Uma boa opção está na mitigação do multicaminho usando técnicas de *software*, as quais incluem aproximações paramétricas e técnicas de filtragem que lidam com as observações durante o estágio de processamento dos dados. Entretanto, para o uso de alguns desses métodos, são necessárias combinações de dupla frequência, conhecimento da modelagem de ganho da antena, ou até mesmo, um conhecimento à priori do ambiente (como por exemplo, um modelo digital do terreno) (JIA, TSAKIRI e STEWART, 1999; WALKER e KUBIK, 1996; HANNAH et al., 1998). Trata-se, portanto, de uma estratégia não trivial para implementação.

Porém, existe um novo método que não necessita das condições mencionadas acima: a transformada *wavelet*, a qual será descrita na próxima seção.

3.1. TRANSFORMADA WAVELETS

Uma expansão em *wavelets* usa translações e dilatações a partir de uma única função $y \in L^2(R)$ chamada de *wavelet* mãe (VERTTELI E KOVAÈEVILÆ 1995). Note que $L^2(R)$ é o espaços de funções quadráticas integráveis, ou ainda, o conjunto dos sinais de energia finita. Dessa forma, a transformada de *wavelets* contínua (TWC) faz uso da função:

$$\mathbf{y}_{a,b}(x) = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \mathbf{y} \left(\frac{x-b}{a} \right) \quad a, b \in \mathbb{R}, \quad a \neq 0. \quad (07)$$

A equação (07) corresponde a uma família de funções obtida a partir da *wavelet* mãe dilatada pelo fator a e submetida ao deslocamento b . No caso contínuo, o parâmetro de dilatação a e o parâmetro de translação b variam continuamente. O fator $\frac{1}{\sqrt{|a|}}$ é incluso para conservar a norma, ou seja, $\|\mathbf{y}\|_{L^2} = 1$ (VERTTELI E KOVAËEVIAË, 1995).

A CWT de uma função $f \in L^2(\mathbb{R})$ é definida por:

$$W(a,b) = \langle f, \mathbf{y}_{a,b} \rangle = \int f(x) \frac{1}{\sqrt{|a|}} \overline{\mathbf{y} \left(\frac{x-b}{a} \right)} dx \quad (08)$$

onde $\langle f, \mathbf{y}_{a,b} \rangle$ representa o produto interno de uma função de uma variável $f(x)$ por uma função de duas variáveis $\mathbf{y}(a,b)$ (DAUBECHIES, 1992).

O resultado da TWC são muitos coeficientes *wavelet* W em função da escala e posição. Multiplicando cada coeficiente pelo escalar adequado e fazendo um deslocamento apropriado, resultam os coeficientes *wavelet* do sinal original (MISITI et al, 2001).

Suponha que a *wavelet* satisfaz a seguinte condição de admissibilidade (DAUBECHIES, 1992):

$$C_{\mathbf{y}} = \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{|\hat{\mathbf{y}}(\mathbf{x})|^2}{\mathbf{x}} d\mathbf{x} < \infty \quad (09)$$

onde $\hat{\mathbf{y}}(\mathbf{x})$ é a Transformada de Fourier de \mathbf{y} . Então, a TWC $W(a,b)$ é inversível e a sua inversa é dada pela relação:

$$f(x) = \frac{1}{C_{\mathbf{y}}} \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} W(a,b) \mathbf{y}_{a,b}(x) \frac{dad b}{a^2}. \quad (10)$$

Note que o sinal reconstruído $f(x)$ é o constituinte *wavelet* do sinal original e é encontrado através da multiplicação de cada coeficiente pela *wavelet* dilatada e transladada apropriadamente (XIA, 2001).

Suponha que a *wavelet* \mathbf{y} e sua Transformada de Fourier $\hat{\mathbf{y}}$ são funções finitas com centros \bar{x} e $\bar{\mathbf{x}}$ respectivamente e que se estendem sobre intervalos finitos Dx e $D\mathbf{x}$ em ambos os lados de \bar{x} e $\bar{\mathbf{x}}$ respectivamente. A TWC adquire informação da função f a partir de um intervalo de tempo:

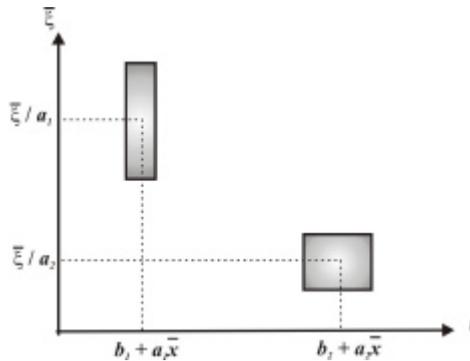
$$[b + a\bar{x} - a\Delta x, b + a\bar{x} + a\Delta x] \quad (11)$$

e a partir de um intervalo de frequência:

$$\left[\frac{\bar{x} - \Delta x}{a}, \frac{\bar{x} + \Delta x}{a} \right]. \quad (12)$$

Estes dois intervalos são a localização no tempo, equação (11), e a localização em frequência, equação (12); e determinam uma janela tempo-freqüência com área $4D_x D_w$ (CHUI, 1992). Esta janela diminui automaticamente para detectar fenômenos de altas freqüências ($a > 0$ pequeno) e aumenta para investigar baixas freqüências ($a > 0$ grande), ou seja, é estreita para freqüências altas e larga para freqüências baixas (figura 06). Isto é o que se deseja em análise tempo-freqüência, pois quando se trabalha com sinais do mundo real, estes podem conter freqüências que aparecem apenas durante um intervalo de tempo limitado, necessitando assim, de uma representação tempo-freqüência.

FIGURA 06 - JANELAS TEMPO-FREQÜÊNCIA, $a_1 < a_2$

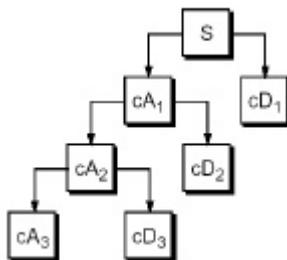


3.2. A ANÁLISE DE MULTIRESOLUÇÃO NA MITIGAÇÃO DO MULTICAMINHO

Na mitigação do multicaminho pela transformada de *wavelets*, o sinal original de entrada (observações de dupla diferença da fase da onda portadora e da pseudodistância) será decomposto em dois sinais. Um, de baixa freqüência, que representa a identidade do sinal com variações suaves. E um outro, de alta freqüência, que representa as variações maiores e as mudanças mais rápidas. Este último trata da parte do sinal com o efeito do multicaminho, resíduos da atmosfera e os ruídos (XIA, 2001).

Para realizar essa decomposição, o sinal passa por um algoritmo de filtragem, conhecido como algoritmo de Mallat ou Análise de Multiresolução. Nesse processo, a filtragem é iterativa com sucessivas aproximações. Como resultado, o sinal é dividido em componentes de resolução cada vez mais baixa, formando uma decomposição em árvore (Figura 07).

FIGURA 07 – DECOMPOSIÇÃO DE MALLAT DE 3 NÍVEIS



Fonte: MISITI et al, 2001

A cada passo, o coeficiente de aproximação (cA) é menos influenciado pelos componentes de alta frequência do sinal. O coeficiente de “detalhes” (cD) consiste principalmente da alta frequência (ruído), enquanto o cA contém menos ruído que o sinal original. Nesse sentido, esses componentes são separados um do outro e isso formará um mecanismo pela teoria de *wavelet* para ser usado na eliminação do multicaminho no sistema de posicionamento GPS.

A partir daí, o sinal é reconstruído, ou seja, a observação de dupla diferença é recuperada pelo agrupamento das componentes decompostas usando os coeficientes *wavelet* (XIA, 2001).

Com o aumento do comprimento da linha de base, os resíduos atmosféricos aumentarão, mas geralmente, com uma frequência mais baixa que a do multicaminho. Conseqüentemente, eles serão separados em diferentes camadas de decomposição.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

O mérito desse método de atenuação do multicaminho no posicionamento relativo GPS de alta precisão é o baixo custo em seu desenvolvimento. Além disso, resultados preliminares e indicativos da literatura são promissores. O desenvolvimento teórico desse método encontra-se em fase de implementação.

Pretende-se, futuramente, fazer uma coleta de dados em local sujeito ao multicaminho, mas de forma que o mesmo seja controlado. Numa das coletas de dados, utilizando os receptores Trimble 4600 LS e Ashtech Z-XII, será, propositalmente, inserido multicaminho mediante a colocação, em local apropriado, de objetos que refletem o sinal. Num segundo momento, o mesmo experimento se repetirá, mas sem os objetos, provocadores do multicaminho.

Uma vez que o algoritmo for implementado, esses dados passarão pelo processo de análise espectral, e o sinal será reconstruído sem as frequências associadas ao multicaminho.

Os dados serão processados com o software GPSeq, disponível na FCT/UNESP (MACHADO e MONICO, 2001; MACHADO, 1999), sem as correções do multicaminho e com as correções propriamente ditas. As correções serão aplicadas nos próprios arquivos de dados.

Os resultados obtidos serão comparados entre si e com a “verdade de terreno”, determinada por processos independentes e não sujeitos ao multicaminho. Isto permitirá avaliar os benefícios do método proposto, quer seja em termos de qualidade dos resultados, quer seja em termos de intervalo de tempo para solução das ambigüidades.

5. REFERÊNCIAS

BRAASCH, M. Multipath Effects. In: PARKINSON, B. W. e SPILKER, J. J. **Global Positioning System: Theory and Applications**. Cambridge: American Institute of Aeronautics and Astronautics, 1996. v. 1, p.547-568.

CHUI, Charles K. **An introduction to wavelets**. Boston: Academic Press, 1992.

COMP, C. J.; AXELRAD, P. An Adaptive SNR-Based Carrier Phase Multipath Mitigation Technique. In: 9th INTERNATIONAL TECHNICAL MEETING, 1996, Kansas City. **Proceedings...** Kansas City, Missouri: The Satellite Division of the Institute of Navigation, 1996. p. 683-697.

DAUBECHIES, I. **Ten Lectures on Wavelets**. SIAM, Philadelphia, PA, 1992. 357p.

FARRET, J. C. **O efeito do multicaminho estático nas medidas da fase das portadoras GPS**. 2000. 132f. Tese (Doutorado em Ciências Geodésias) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

HANNAH, B. M.; WALKER, R.; KUBIK, K. Towards a Complete Virtual Multipath Analysis Tool. In: 11th INTERNATIONAL TECHNICAL MEETING, 1998, Nashville. **Proceedings...** Nashville: The Satellite Division of the Institute of Navigation, 1998. p. 1055-1063.

HOFMANN-WELLENHOF, B.; LICHTENEGGER, H.; COLLINS, J. **GPS Theory and Practice**. 4.ed. Wien: Springer-Verlag, 1993. 326p.

JIA, M.; TSAKIRI, M.; STEWART, M. Mitigating Multipath Errors Using Semi-parametric models for High Precision Static Positioning. **IAG 1999**.

LEICK, A. **GPS Satellite Surveying**. New York: John Wiley & Sons, 1995.560p.

MACHADO, W. C. **Solução rápida das Ambigüidades GPS para aplicação no posicionamento Relativo Cinemático**. 2001. Dissertação de Mestrado em Ciências Cartográficas - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente.

MACHADO, W. C.; MONICO, J. F. G. Solução rápida das ambigüidades GPS utilizando o software GPSeq.. In: XIX CONGRESSO BRASILEIRO de CARTOGRAFIA. **Proceedings...** Recife, 1999. CD ROM.

MISITI, M. et al. **Wavelet Toolbox User's Guide**. The MathWorks. 2001.

MOELKER, D. J. Multiple antennas for Advanced GNSS Multipath Mitigation and Multipath Direction Finding. In: 10th INTERNATIONAL TECHNICAL MEETING, 1997, Kansas City, Missouri. **Proceedings...** Kansas City, Missouri: The Satellite Division of the Institute of Navigation, 1997. p. 541-550.

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo NAVSTAR - GPS**: Descrição, fundamentos e aplicações. São Paulo: UNESP, 2000. 287p.

SAPUCCI, L. F. **Estimativa do vapor d'água atmosférico e a avaliação do atraso zenital troposférico utilizando GPS**. 2001. 167f. Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente.

SEEBER, G. **Satellite geodesy: foundations, methods and applications**. Berlin, New York: Walter de Gruyter, 1993. 356p.

VETTERLI, M.; KOVAÈVIÆ J. **Wavelets and Subband Coding**, New Jersey: Prentice-Hall PTR, 1995. 488p.

XIA, L. Approach for Multipath Reduction Using Wavelet Algorithm. In: 14th INTERNATIONAL TECHNICAL MEETING, 2001, Salt Lake City, UT. **Proceedings...** Kansas City: The Satellite Division of the Institute of Navigation, 2001. p. 2134-2143.

WALKER, R. A.; KUBIK, K. Numerical Modelling of GPS Signal Propagation. In: 9th INTERNATIONAL TECHNICAL MEETING, 1996, Kansas City. **Proceedings...** Kansas City, Missouri: The Satellite Division of the Institute of Navigation, 1996. p. 709-717.

WEILL, L R. Conquering Multipath: The GPS Accuracy Battle. **GPS World**, 1997, v. 8, p.59-66.

6. AGRADECIMENTOS

Este trabalho está sendo desenvolvido com recursos financeiros da FAPESP (Processo nº 01/11857-2) mediante atribuição de bolsa de mestrado à primeira autora.

ATENUAÇÃO DOS EFEITOS DA IONOSFERA NO POSICIONAMENTO RELATIVO GPS DE ALTA PRECISÃO UTILIZANDO A TÉCNICA DOS MÍNIMOS QUADRADOS PENALIZADOS

Daniele Barroca Marra¹
João Francisco Galera Monico²
Messias Meneguette Jr.³

- 1 Universidade Estadual Paulista – danibarroca@prudente.unesp.br
- 2 Universidade Estadual Paulista – galera@prudente.unesp.br
- 3 Universidade Estadual Paulista – messias@prudente.unesp.br

RESUMO

Efeitos causados pela refração ionosférica são a maior fonte de erros sistemáticos para o posicionamento relativo GPS de alta precisão. Esses erros podem não somente impedir uma confiável resolução de ambigüidades, como também degradar a acurácia dos resultados. Os efeitos de primeira ordem da refração ionosférica podem ser praticamente eliminados quando dados oriundos de receptores de dupla frequência estão disponíveis, pois pode ser utilizada a observável *Ion Free*. Mas, no posicionamento relativo de alta precisão, os erros de segunda e terceira ordens têm grande influência nos resultados. Dessa forma, alguns autores tem utilizado o modelo semi-paramétrico e a técnica dos mínimos quadrados penalizados para atenuar os efeitos desses erros. Nesse método, os erros são modelados como funções que variam suavemente com o tempo. E mais, as funções de erros sistemáticos, ambigüidades e coordenadas de interesse, são estimadas simultaneamente. Como resultado, espera-se que a ambigüidade e as coordenadas de interesse sejam estimadas com melhores confiança e acurácia do que com o método convencional dos mínimos quadrados. Além disso, a solução pode vir a requerer um menor intervalo de tempo de coleta de dados, minimizando custos. Todos esses aspectos farão parte deste artigo.

Palavras-chave: Mínimos Quadrados Penalizados; Modelo Semi-paramétrico; Erros Ionosféricos

ABSTRACT

Effects caused by the ionospheric refraction are the major systematic error source for high precision GPS relative positioning. These errors deteriorate the precision and reliability of both the ambiguities resolution and estimated site coordinates. The first order ionospheric refraction effects can be practically eliminated when data from double frequency receivers are available, because the *Ion Free* observable can be used. But, in the high precision relative positioning, the second and third orders errors have great influence on the results. Thus, some authors have been using the semi-parametric model and the penalised least squares technique to mitigate these ionospheric errors. In this method, the errors are modelled as functions which vary smoothly in time. And more, the systematic errors functions, ambiguities and site coordinates, are estimated simultaneously. As a result, it is hoped that the ambiguities and the site coordinates are estimated with better reliability and accuracy than the conventional least square method. Besides, the solution may request a shorter interval of data collection, minimizing costs. All these aspects will be part of this paper.

Keywords: Penalised Least Squares; Semiparametric Model; Ionospheric Errors

1. INTRODUÇÃO

As observáveis básicas do Global Navigation Satellite System (GNSS), em especial o GPS, que permitem determinar posição, velocidade e tempo, tal como todas as outras observáveis envolvidas nos processos de medidas, estão sujeitas a erros aleatórios, sistemáticos e grosseiros. Para obter resultados confiáveis, o modelo matemático estabelecido deve ser válido para a realidade física que se tenta descrever, e capaz de detectar problemas, nas observáveis envolvidas. Dessa forma, todos os tipos de erros envolvidos no processo de medida devem ser bem conhecidos. Dentre eles, os erros aleatórios são inevitáveis, sendo, portanto, considerados uma propriedade inerente das observações (GEMAEL, 1994).

Erros grosseiros (outliers) devem ser eliminados através do processo de controle de qualidade. Um procedimento extensivamente utilizado na área de Geodésia é denominado Detection, Identification and Adaptation (DIA) (TEUNISSEN, 1998).

Erros sistemáticos podem ser parametrizados (modelados como erros adicionais) ou eliminados por técnicas apropriadas de observação. Quando se utiliza o GPS, as principais fontes de erros sistemáticos no posicionamento relativo de alta precisão envolvendo linhas de base de média distância, são a refração troposférica e a refração ionosférica (MONICO, 2000; HOFMAN-WELLENHOF, 1997). Esses

erros podem, não somente impedir uma confiável resolução de ambigüidades, como também degradar a acurácia dos resultados.

Para atenuar os efeitos desses erros e para melhorar a confiabilidade da resolução das ambigüidades e da estimativa das coordenadas de interesse, alguns estudos têm sido iniciados no sentido de aplicar o método dos Mínimos Quadrados com Penalidades (JIA, TSAKIRI e STEWART, 2001), dentro do contexto do método semi-paramétrico, usando uma spline cúbica natural (GREEN e SILVERMAN, 1994).

No método semi-paramétrico, os erros são modelados como funções que variam suavemente com o tempo. E mais, as funções de erros sistemáticos, ambigüidades e coordenadas de interesse, são estimadas simultaneamente. Como resultado, espera-se que ambigüidade e coordenadas de interesse sejam estimadas com melhor confiança do que com o método convencional dos Mínimos Quadrados. Além disso, a solução pode vir a requerer um menor intervalo de tempo de coleta de dados.

Desta forma, o objetivo desse artigo é apresentar a técnica dos Mínimos Quadrados Penalizados no contexto do modelo semi-paramétrico no posicionamento relativo GPS. Com esse método é possível atenuar os efeitos ionosféricos no posicionamento GPS de alta precisão.

O conteúdo deste artigo está organizado em 6 seções. A seção 1 apresentou o problema e o objetivo. Na seção 2 são apresentadas algumas características da ionosfera e seus efeitos no posicionamento relativo GPS. A seção 3 descreve o MMQ com Penalidades e o modelo semi-paramétrico. Como no Mínimos Quadrados com Penalidades é utilizada uma spline cúbica natural, a seção 4 descreve tais funções. Já a seção 5 trata da escolha do parâmetro suavizador, que é uma das principais etapas da técnica dos Mínimos Quadrados Penalizados. Finalmente, a seção 6 apresenta algumas considerações finais e descreve desenvolvimentos futuros.

2. IONOSFERA

A ionosfera é uma importante fonte de erro para usuários do GPS que requerem medidas com boa acurácia. As vezes, os erros causados pela troposfera e ionosfera podem ser comparados, mas a variabilidade dos erros da ionosfera é muito maior que da troposfera, e também é mais difícil para se modelar. Os erros ionosféricos podem variar de poucos metros a dezenas de metros, enquanto que na troposfera os erros no zênite estão geralmente entre dois e três metros (KLOBUCHAR, 1996, p.485).

A ionosfera é um meio dispersivo, no qual o índice de refração é função da frequência utilizada, assim os usuários do GPS podem utilizar a dupla frequência para tirar vantagem dessa propriedade, eliminando com isso os erros de primeira

ordem (KLOBUCHAR,1996, p.485). Mas para o posicionamento relativo de alta precisão, os erros de segunda e terceira ordens tem grande influência, assim, com a técnica dos Mínimos Quadrados Penalizados, esses erros podem ser atenuados.

2.1. EFEITOS DA IONOSFERA NOS SINAIS GPS

O efeito da refração ionosférica depende da frequência usada e, conseqüentemente, do índice de refração. Esse efeito de refração é proporcional ao *Total Electron Contents* (TEC), ou seja, o número de elétrons presentes ao longo do caminho percorrido pelo sinal entre o satélite e o receptor (MONICO, 2000). Além disso, a atividade solar e o campo geomagnético também influenciam, por isso a refração ionosférica também depende da localização geográfica e do tempo (SEEBER, 1993).

Para estimar a densidade de elétrons, vários modelos têm sido desenvolvidos. Para a correção de medidas GPS, o modelo de Klobuchar geralmente é aplicado. Esse modelo corrige cerca de 50% do efeito total da ionosfera. Uma melhor alternativa é obtida quando o coeficiente c_2 (utilizado para estimar o índice de refração) é determinado a partir de observações simultâneas dos sinais transmitidos pelos sinais GPS em duas frequências diferentes (SEEBER, 1993).

Os efeitos da refração ionosférica podem ser praticamente eliminados quando dados oriundos de receptores de dupla frequência estão disponíveis (realizando combinações lineares entre as portadoras L1 e L2 é possível eliminar erros de primeira ordem). Por outro lado, os usuários de receptores de monofrequência têm de negligenciar os efeitos ou, quando for o caso, corrigí-los a partir de modelos existentes. Uma outra possibilidade é realizar apenas posicionamento relativo envolvendo linhas de base curtas (MONICO, 2000).

No trabalho que está sendo realizado, os erros ionosféricos serão atenuados utilizando a técnica dos Mínimos Quadrados Penalizados no modelo semi-paramétrico. Uma descrição dessa técnica é realizada na próxima seção.

3. MÍNIMOS QUADRADOS PENALIZADOS

Para minimizar os erros sistemáticos de linhas de base de média distância no posicionamento GPS, os modelos são geralmente baseados no Método dos Mínimos Quadrados. As observáveis básicas são as duplas diferenças da fase da onda portadora e da pseudo distância (MONICO, 2000). O ajustamento de observações pelo MMQ pode ser efetuado usando o método das equações de observação (paramétrico), o das equações de condição (condicionado) ou o combinado (GEMAEL, 1994).

Em geral, no processamento de dados GPS, o método usado é o das equações de observação, quer seja em lote, quer seja recursivamente. No processamento em lote,

todas as observações são ajustadas simultaneamente; já na forma recursiva (Filtragem Kalman), elas podem ser inseridas a medida que se tornam disponíveis. Assim, o processo recursivo é mais apropriado no processamento de dado GPS (MONICO, 2000; TIBERIUS, 1998).

Mas, no trabalho que se está propondo, será utilizado o modelo semi-paramétrico, com a técnica dos Mínimos Quadrados Penalizados. Este modelo deverá melhorar a taxa de sucesso de solução da ambigüidade em relação ao Mínimos Quadrados convencional.

A técnica dos Mínimos Quadrados Penalizados tem sido utilizada por alguns autores para a determinação da ambigüidade e das coordenadas de interesse e resultados promissores têm sido encontrados.

Nessa técnica, a aspereza de uma curva é medida pelo termo:

$$\int_a^b \{g''(t)\}^2 dt \quad (01)$$

sendo g uma curva duas vezes diferenciável definida em um intervalo $[a, b]$ (GREEN e SILVERMAN, 1994). A equação (01) realiza a medida global de aspereza de uma curva, e além disso, apresenta vantagens computacionais.

Uma motivação para se usar esse método que determina a aspereza de uma curva, surgiu de um dispositivo mecânico que foi muito usado (antes do surgimento dos gráficos computacionais) para desenhar curvas suaves. Esse dispositivo consistia em um pedaço fino e flexível de madeira, chamado de spline, que era curvado para moldar o gráfico de g (GREEN e SILVERMAN, 1994). Mais detalhes sobre splines serão vistos na seção 4.

Dessa forma, dado um parâmetro suavizador $\alpha > 0$ e observações Y_i , a soma dos quadrados penalizada é dada por:

$$S(g) = \sum_{i=1}^n \{Y_i - g(t_i)\}^2 + \mathbf{a} \int g''^2 \quad (02)$$

A adição do termo de penalidade de aspereza em (02) assegura que $S(g)$ de uma curva particular é determinada não somente pela sua aderência aos dados como quantificado pela soma dos quadrados dos resíduos $\sum \{Y_i - g(t_i)\}^2$, mas também pela sua aspereza $\int g''^2$ (GREEN e SILVERMAN, 1994).

Note que, se α é grande, o principal componente em $S(g)$ será o termo de penalidade de aspereza, e, portanto, o mínimo \hat{g} exibirá uma curvatura pequena. No caso limite onde \mathbf{a} tende para o infinito, o termo $\int g''^2$ será forçado a zero e a curva \hat{g} se aproximará de uma regressão linear.

Por outro lado, se \mathbf{a} é relativamente pequeno, então a principal contribuição para $S(\mathbf{g})$ será a soma dos quadrados dos resíduos. No caso limite onde \mathbf{a} tende a zero, $\hat{\mathbf{g}}$ possuirá grande aspereza.

Assim, a escolha do parâmetro suavizador é uma importante etapa na utilização da técnica dos Mínimos Quadrados Penalizados. Um método que otimize sua escolha será visto posteriormente.

3.1. MODELO SEMI-PARAMÉTRICO

No modelo semi-paramétrico, o cálculo das variáveis é dividido em duas partes, isto é, a parte paramétrica e a parte não-paramétrica. Normalmente, a parte paramétrica é a de interesse do usuário. No caso do GPS, a parte paramétrica pode ser as duplas diferenças de ambigüidade e as coordenadas da estação. A parte não-paramétrica pode representar uma combinação de algumas funções de erros que variam suavemente com o tempo (JIA, STEWART e TSAKIRI, 2001), tal como em:

$$y_i = A_i x + N_i g(t_i) + e_i \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (03)$$

$$\mathbf{e}_i \approx N(0, \sum_i), \quad E(\mathbf{e}_i, \mathbf{e}_j) = 0, \quad i \neq j$$

onde:

- $y_i \in \mathbb{R}^m$ são as observações na i-ésima época;
- $A_i \in \mathbb{R}^{n \times p}$ é a matriz dos coeficientes da equação (matriz “design”);
- $x \in \mathbb{R}^p$ é o vetor dos parâmetros a ser estimado envolvendo as ambigüidades da fase da onda portadora e as coordenadas de interesse;
- $N_i \in \mathbb{R}^{m \times q}$ é a matriz de incidência (GREEN e SILVERMAN, 1994, p.65);
- $g(t_i) \in \mathbb{R}^q$ são as funções de erros;
- t_i é o índice de tempo;
- $e_i \in \mathbb{R}^m$ são os erros eventuais na i-ésima época;
- n é o número de épocas;
- m é o número de observações por época;
- q é o número de funções de erros;
- p é o número de parâmetros a estimar; e
- \sum_i é a matriz covariância das observações.

A equação (03) contém $m \times n$ observações e $q \times n + p$ incógnitas. Dois casos podem ser considerados para tal sistema de equações. Primeiro, se o número de incógnitas é maior que o número de observações. Neste caso, a equação (03) não pode ser resolvida usando a técnica de Mínimos Quadrados tradicional. Já no outro caso, se o número de incógnitas for menor que o número de observações, a equação

(03) pode não fornecer uma solução estável quando a técnica nos Mínimos Quadrados tradicional é usada, devido ao número de incógnitas, maior que o usual.

Para que se obtenha uma resolução confiável, injunções adicionais, que correspondem a penalidade do ajustamento, devem ser adicionadas. Trata-se do MMQ com Penalidades (GREEN AND SILVERMAN, 1994). Dessa forma, a função a ser minimizada é dada por (JIA, STEWART e TSAKIRI, 2001):

$$\sum_{i=1}^n (y_i - A_i x - N_i g(t_i))^T \sum_i^{-1} (y_i - A_i x - N_i g(t_i)) + \sum_{j=1}^q a_j \int (g_j''(t))^2 dt = \min \quad (04)$$

onde a_j é o parâmetro suavizador e $g_j''(t)$ é a segunda derivada da j -ésima função em relação ao tempo.

A equação (04) define a soma dos quadrados penalizados. A primeira parte da equação (04) é a soma dos quadrados dos resíduos dos mínimos quadrados, e a segunda parte é o termo de penalidade de aspereza.

Mas, para que se possa realizar tal ajustamento através da técnica dos Mínimos Quadrados Penalizados, é necessário a utilização de um spline cúbico natural (GREEN E SILVERMAN, 1994), para descrever as funções de erros. A spline cúbica natural será descrita na seção 4.2.1.

O mérito desse procedimento de ajustamento utilizando a spline cúbica natural, é que as funções de erros estimadas variam suavemente com o tempo, e como os erros sistemáticos resultantes numa linha de base de comprimento médio variam suavemente com o tempo, a aplicação do algoritmo citado parece ser uma boa estratégia a ser investigada.

4. SPLINES

Para se trabalhar com o ajustamento e interpolação de funções, uma aproximação por polinômios é muito conveniente, uma vez que as funções polinomiais têm várias propriedades interessantes, dentre elas a analiticidade, que torna possível calcular as derivadas, de qualquer ordem, dos polinômios. Entretanto, a necessidade de muitas derivadas da função que está sendo aproximada por polinômios pode ser muito restritiva (CUNHA, 2000).

Uma solução para isso é a utilização de polinômios por partes, pois dessa forma pode-se escapar da analiticidade no intervalo inteiro, permitindo discontinuidades das derivadas de ordem mais elevadas em alguns pontos. Essa característica de “pseudo analiticidade” confere as funções polinomiais por partes, chamadas splines, boas propriedades de aproximação, convergência e estabilidade (CUNHA, 2000).

Embora existam indicações de que funções suaves por partes tenham sido usadas por Euler (1707-1783) e outros autores, no início do século XX, deve-se a R. Courant (1943) e I. Shoemberg (1946) a formulação de splines que se usa hoje.

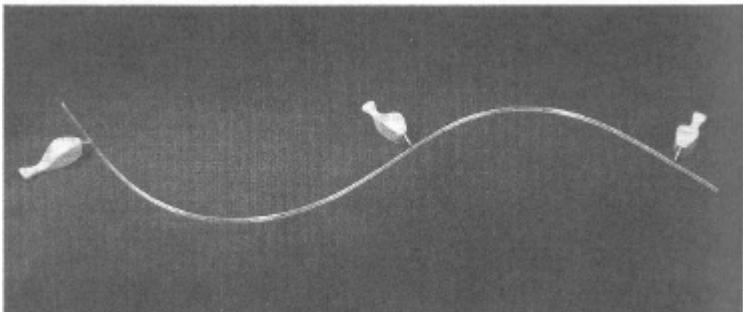
A teoria das splines foi desenvolvida a partir de necessidades práticas de aproximação.

4.1. ORIGEM

A origem do nome spline vem de uma régua elástica, usada em desenhos de engenharia, que pode ser curvada de forma a passar por um dado conjunto de pontos (x_i, y_i) .

Essa régua flexível que constrói a spline, era uma longa e estreita tira de madeira ou plástico moldada por “presilhas” (figura 01). Pela variação da posição e do número de presilhas a spline passa pelos pontos especificados resultando em uma curva suave (ROGERS e ADAMS, 1990).

FIGURA 01 – SPLINE MECÂNICA



FONTE: Rogers, 1990

A curva definida pela régua pode ser descrita matematicamente como sendo uma função por partes, cada qual um polinômio cúbico, de tal forma que ela e suas duas primeiras derivadas são sempre contínuas. A terceira derivada, entretanto, pode ter descontinuidade nos pontos x_i (RUGGIERO, 1996).

Essas splines mecânicas são hoje em dia bastante incomuns, mas elas foram muito utilizadas na construção de navios e estradas de ferro (GREEN e SILVERMAN, 1994).

4.2. DEFINIÇÃO DE SPLINE

As funções splines estão associadas a uma partição do intervalo $[a, b]$ onde se pretende trabalhar. Uma partição I será definida pelos pontos x_0, x_1, \dots, x_m , tal que:

$$I: a = x_0 < x_1 < \dots < x_{m-1} < x_m = b \quad (05)$$

Em cada subintervalo (x_{i-1}, x_i) , $i = 1, 2, \dots, m$, as splines são polinômios de um determinado grau n . Estes “pedaços” de polinômios são colados convenientemente para que algumas derivadas, da ordem exigida pelo problema, existam em todo o

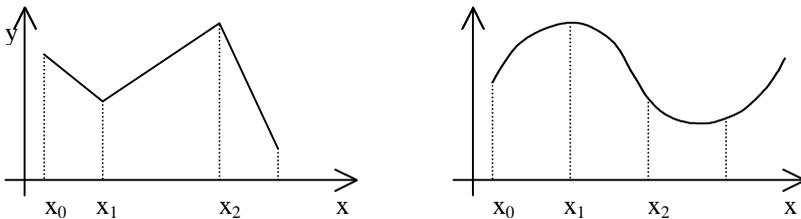
intervalo $[a, b]$. Existe uma relação entre o grau dos “pedaços” dos polinômios e a ordem das derivadas exigidas nos pontos da partição. Assim, algumas restrições devem ser impostas na definição geral das splines (CUNHA, 2000).

Definição: Uma função $s(x)$ é chamada de spline de grau n , associada a uma partição (05) de $[a, b]$, se (CUNHA, 2000):

- $s(x)$ é um polinômio de grau n em cada subintervalo (x_{i-1}, x_i) ;
- $s(x)$ tem $n - 1$ derivadas contínuas em cada x_i , e portanto em $[a, b]$.

A figura 02 ilustra uma spline linear, $n = 1$, e uma spline cúbica, $n = 3$.

FIGURA 02 – EXEMPLOS DE SPLINES LINEAR ($N = 1$) E CÚBICA ($N = 3$)



4.2.1 Spline Cúbica Natural

O MMQ com Penalidades utiliza uma spline cúbica natural, portanto nesta seção será definida tal função.

Dados os números reais t_1, \dots, t_n em algum intervalo $[a, b]$, satisfazendo $a < t_1 < t_2 < \dots < t_n < b$, uma função g definida sobre $[a, b]$ é uma spline cúbica se valerem as seguintes condições:

- Em cada intervalo $(a, t_1), (t_1, t_2), (t_2, t_3), \dots, (t_n, b)$, g é um polinômio cúbico;
- A primeira e segunda derivadas são contínuas em cada t_i , e portanto, contínuas no intervalo $[a, b]$.

Uma spline cúbica sobre um intervalo $[a, b]$ será dita uma spline cúbica natural, se a segunda e terceira derivadas são nulas em a e b .

5. ESCOLHA DO PARÂMETRO SUAVIZADOR

Existem duas filosofias diferentes para a escolha do parâmetro suavizador. No primeiro procedimento, se considera a escolha livre do parâmetro suavizador um vantajoso critério. Variando o parâmetro suavizador, algumas características dos dados podem ser exploradas, mas se uma única estimativa é necessária, esta pode ser obtida através de uma escolha subjetiva. Já o outro procedimento se opõe ao primeiro pois, nesse caso, a escolha do parâmetro suavizador deve ser automática, isto é, calculado a partir dos dados (GREEN e SILVERMAN, 1994).

O procedimento automático é essencial em aplicações onde o método é aplicado para um grande número de conjuntos de dados, ou quando esse método é um componente de um processo mais complicado.

Como no trabalho que está em desenvolvimento será utilizado um método automático para escolher o parâmetro suavizador, as próximas seções descreveram um dos métodos mais conhecidos e utilizados, a validação cruzada e a validação cruzada generalizada.

5.1. VALIDAÇÃO CRUZADA

A validação cruzada (cross – validation - CV) é uma técnica usada para estimar o erro de predição, para um modelo ajustado aos dados. O erro de predição mede a capacidade de um modelo prever a resposta a uma observação futura (MORETTIN, 1997).

A validação cruzada usa parte dos dados para estimar o modelo e o restante para avaliar se ele é adequado ou não. Usualmente, o algoritmo de validação cruzada é o seguinte:

- Se existem n observações y_1, \dots, y_n , ajusta-se o modelo para cada observação y_i , deixando esta observação de fora, e calcula-se o valor previsto para esta i -ésima observação, denotado por \hat{y}_i^{-i} ; e
- Calcula-se $CV = n^{-1} \sum_{i=1}^n \{y_i - \hat{y}_i^{-i}\}^2$.

Assim, a técnica de validação cruzada cria uma situação de “nova observação” para conjuntos de dados onde novas observações não estão disponíveis. Um exemplo disso ocorre quando o método de suavização é utilizado para um único conjunto de dados (GREEN e SILVERMAN, 1994).

O desenvolvimento matemático da validação cruzada neste trabalho é descrito a seguir. Seja \mathbf{a} o parâmetro suavizador. Considere a observação Y_i de t_i como sendo uma nova observação, e a omita do conjunto de dados utilizado para estimar a curva. Denote por $\hat{g}^{(-i)}(t; \mathbf{a})$ a curva estimada dos dados restantes. Dessa forma, use o parâmetro suavizador \mathbf{a} de modo que $\hat{g}^{(-i)}(t; \mathbf{a})$ seja o mínimo de:

$$\sum_{j \neq i} \{Y_j - g(t_j)\}^2 + \mathbf{a} \int g''^2. \quad (06)$$

Como a escolha da observação que será omitida é arbitrária, a eficácia global do procedimento com o parâmetro suavizador α pode ser quantificada pela função de validação cruzada dada em (GREEN e SILVERMAN, 1994):

$$CV(\mathbf{a}) = n^{-1} \sum_{i=1}^n \{Y_i - \hat{g}^{(-i)}(t_i; \mathbf{a})\}^2. \quad (07)$$

A idéia básica da validação cruzada é escolher o valor de \mathbf{a} que minimize $CV(\alpha)$. Não pode ser garantido que a função CV tem um único mínimo, assim, cuidados devem ser tomados com sua minimização, uma rede de procura é provavelmente o melhor modo. Além disso, qualquer método de minimização que for utilizado envolverá o cálculo de $CV(\alpha)$ para um número de valores de \mathbf{a} , e por isso, é importante que se utilize um método eficiente para o cálculo de CV (GREEN e SILVERMAN, 1994).

Além disso, os valores da validação cruzada satisfazem:

$$CV(\mathbf{a}) = n^{-1} \sum_{i=1}^n \left(\frac{Y_i - \hat{g}(t_i)}{1 - A_{ii}(\mathbf{a})} \right)^2 \quad (08)$$

onde \hat{g} é a spline suavizadora calculada através do conjunto de dados $\{(t_i, Y_i)\}$ com parâmetro suavizador \mathbf{a} e $A(\mathbf{a}) = (I + \hat{\alpha}QR^{-1}Q^T)^{-1}$, sendo Q e R matrizes tridiagonais definidas em Green e Silverman (1994, p.12).

5.2. VALIDAÇÃO CRUZADA GENERALIZADA

A validação cruzada generalizada (Generalized Cross Validation - GCV), uma forma modificada da validação cruzada, é um método popular para encontrar o parâmetro suavizador (GREEN e SILVERMAN, 1994).

A idéia básica da GCV é substituir o fator $1 - A_{ii}(\mathbf{a})$ pela sua média, $1 - n^{-1}trA(\mathbf{a})$. Assim, a validação cruzada generalizada é construída por analogia com a validação cruzada. Dessa forma:

$$GCV(\mathbf{a}) = n^{-1} \frac{\sum_{i=1}^n \{Y_i - \hat{g}(t_i)\}^2}{\{1 - n^{-1}trA(\mathbf{a})\}^2} \quad (10)$$

Da mesma maneira que na validação cruzada, a escolha do parâmetro suavizador no GCV é realizada pela minimização da função $GCV(\alpha)$ em \mathbf{a} .

Se todos os $A_{ii}(\mathbf{a})$ são iguais, por exemplo se todos os t_i são igualmente espaçados, o GCV seria idêntico ao $CV(\alpha)$. Mas, geralmente, existirão algumas diferenças entre as duas aproximações.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

O mérito desse procedimento de ajustamento utilizando uma spline cúbica natural é que as funções de erros estimadas variam suavemente com o tempo, e como os erros sistemáticos resultantes numa linha de base de comprimento médio

variam suavemente com o tempo, a aplicação do algoritmo citado é uma boa estratégia. Resultados preliminares e indicativos da literatura são promissores. O desenvolvimento teórico desse método encontra-se em fase de implementação, sendo que a escolha do parâmetro suavizador de forma ótima é uma meta a ser atingida curto prazo. Uma vez implementado o método, várias análises serão realizadas para validar o procedimento.

Pretende-se, futuramente, fazer uma coleta de dados em linhas de base variando de 15 a 100 Km. Como estação base, adotar-se-á a estação UEPP (localizada no Campus da Unesp de Presidente Prudente) da RBMC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo) que é mantida pelo IBGE. Os dados a serem testados serão coletados com receptores de simples (Trimble 4600 LS e Ashtech Reliance) e de dupla (Ashtech ZXII) frequência, todos disponíveis na FCT/UNESP..

O algoritmo será implementado e os dados serão processados no software GPSeq, disponível na FCT/UNESP (MACHADO e MONICO, 2001; MACHADO, 1999).

Os resultados obtidos pela técnica dos Mínimos Quadrados Penalizados serão comparados com o método paramétrico tradicional, pois isto permitirá avaliar os benefícios do método proposto.

7. REFERÊNCIAS

CUNHA, M. C. **Métodos Numéricos**. 2.ed. Unicamp, 2000. 263p.

GEMAE, C. **Introdução ao ajustamento de observações**: aplicações Geodésicas. Curitiba: UFPR, 1994. 319p.

GREEN, P. J.; SILVERMAN, B. W. **Nonparametric Regression and Generalized Linear Models**: A roughness penalty approach. 1.ed. London: Chapman & Hall, 1994. 182p.

HOFMANN-WELLENHOF, B.; LICHTENEGGER, H.; COLLINS, J. **GPS Theory and Practice**. 4 ed. Wien: Springer-Verlage, 1997. 326p.

JIA, M.; TSAKIRI, M.; STEWART, M. **Mitigation of Ionospheric Errors by Penalised Least Squares Technique for High Precision Medium Distance GPS Positioning**. Proceedings of KIS 2001, Banff, Canada, 2001. 1 CDROM.

KLOBUCHAR, J. A. Ionospheric Effects on GPS. In: PARKINSON, B. W.; SPILKER, J. J. **Global Positioning System**: Theory and Applications. Cambridge: American Institute of Aeronautics and Astronautics, 1996. v.1, p.485-515.

MACHADO, W. C. **Solução Rápida das Ambigüidades GPS para Aplicação no Posicionamento Relativo DE Bases Curtas**. 2001. 121f. Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas) – Faculdade de Ciências de Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente.

_____; MONICO, J. F. G. **Solução rápida das ambigüidades GPS utilizando o software GPSeq**. XIX Congresso Brasileiro de Cartografia, Recife, 1999. 1 CDROM.

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo NAVSTAR-GPS: Descrição, Fundamentos e Aplicações**. São Paulo: Unesp, 2000. 287p.

MORETTIN, P. A. **Ondaletas e seus usos na Estatística**. In: 7ª Escola de Séries Temporais e Econometria, 1997, Canela, Rio Grande do Sul. 85p.

ROGERS, D. F.; ADAMS, J. A. **Mathematical Elements for Computer Graphics**. 2. ed. McGraw-Hill, 1990. 611p.

RUGGIERO, M. A. G.; LOPES, V. L .R. **Cálculo Numérico: Aspectos Teóricos e Computacionais**. 2.ed. São Paulo: MAKRON Books, 1996. 406p.

SEEBER, G. **Satellite Geodesy: Foundations, Methods, and Applications**. Berlin, New York: Walter de Gruyter, 1993. 531p.

TEUNISSEN, P. J. G. Quality Control and GPS. In: TEUNISSEN, P. J. G.; KLEUSBERG, A. **GPS for Geodesy**. 2ed. Berlin: Springer Verlage, 1998, p.271-318.

TIBERIUS, C. C. J. M. **Recursive data processing for Cinematic GPS surveying**. Delft University of Technology, 1998. 248 p.

8. AGRADECIMENTOS

Este trabalho está sendo desenvolvido com recursos financeiros da FAPESP (Processo nº 01/11858-9) mediante atribuição de bolsa de mestrado à primeira autora.

GPS DIFERENCIAL: CONCEITOS BÁSICOS, IMPLEMENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS

André Tadashi Matsuoka¹
Daniele Barroca Marra²
Eniuce Menezes deSouza³
João Francisco Galera Monico⁴

- 1 Universidade Estadual Paulista – tadashi@prudente.unesp.br
- 2 Universidade Estadual Paulista – danibarroca@prudente.unesp.br
- 3 Universidade Estadual Paulista – eniuce@prudente.unesp.br
- 4 Universidade Estadual Paulista – galera@prudente.unesp.br

RESUMO

O DGPS (GPS Diferencial) foi desenvolvido visando reduzir os efeitos da SA imposta ao GPS no modo absoluto (*Standard Positioning Service* - SPS). É uma técnica que não só melhora a acurácia, mas também a integridade do GPS. Sua utilização original foi na navegação, mas atualmente pode ser empregada em várias atividades. As observações normalmente utilizadas são as pseudodistâncias ou as pseudodistâncias filtradas pela portadora. O método que utiliza somente a pseudodistância é mais empregado na prática. Esse método pode ser realizado em tempo real, muito embora possa também ser pós-processado. O conceito de DGPS envolve o uso de um receptor estacionário numa estação com coordenadas conhecidas, rastreando todos os satélites visíveis. O processamento dos dados nessa estação permite que se calculem correções posicionais, bem como das pseudodistâncias observadas. As correções posicionais podem ser determinadas, pois as coordenadas da estação base são conhecidas. Já as correções das pseudodistâncias são baseadas nas diferenças entre as pseudodistâncias observadas (arquivo de observação) e as calculadas (a partir das coordenadas da estação base e dos satélites), levando em consideração os erros do relógio do satélite e receptor. Essas correções podem ser enviadas ao usuário através de um *link* de rádio. Dessa forma, foi desenvolvido um programa computacional que realiza o posicionamento DGPS. Os principais aspectos envolvidos no programa, bem como conceitos básicos e análise dos resultados serão descritos neste artigo.

Palavras-chave: GPS Diferencial; Correções das Pseudodistâncias; Posicionamento

ABSTRACT

The DGPS (Differential GPS) was developed aiming to reduce the SA (Selective Availability) effects imposed to the GPS in the absolute mode (Standard Positioning Service - SPS). It is a technique that not only improves the accuracy, but also the GPS integrity. Its original use was in the navigation, but now it can be used in several activities. The pseudoranges or the pseudoranges filtered by the carrier phase are usually the observations used. The method that uses only the pseudorange is more employed in practice. This method can be accomplished in real time, as well as in a post-processing approach. The DGPS concept involves the use of a stationary receiver in a station with known coordinates, tracking all the visible satellites. The processing of the data of this station allows computing position corrections can be calculated, as well as pseudorange corrections. The position corrections can be calculated, because the base station coordinates are known. The pseudorange corrections are based on the differences between the observed pseudoranges (observation file) and the calculated pseudoranges (using the base station and satellites coordinates), considering the receiver and satellite clock errors. These corrections can be sent to the user through a radio link. It was implemented a software that accomplishes the DGPS positioning. The main aspects of this implement together to the basic concepts of DGPS and analyser of the results will be described in this paper.

Keywords: Differential GPS; Pseudorange Corrections; Positioning

1. INTRODUÇÃO

Sabe-se que a medida da distância entre os centros de fase da antena de um receptor GPS e da antena do satélite, medida pelo receptor GPS, é denominada pseudodistância. Essa medida é afetada por diversos erros, dentre outros, pode-se citar os erros do relógio do satélite e do receptor, efeito de multicaminho, refração troposférica e ionosférica.

Mesmo com essas fontes de erros, durante a fase de implementação do GPS, esperava-se que a acurácia do posicionamento utilizando pseudodistâncias a partir do código C/A fosse da ordem de 400m. No entanto, testes realizados mostraram acurácia em torno de 30m. Essa inesperada situação desfechou o programa designado *Selective Availability* (SA) para ser incorporada nos satélites, com o objetivo de proibir a obtenção da acurácia proporcionada pelo GPS.

O DGPS foi desenvolvido visando reduzir os efeitos da SA imposta ao GPS no modo absoluto (*Standard Positioning Service* - SPS). É uma técnica que não só

melhora a acurácia, mas também a integridade do GPS. Sua utilização original foi na navegação, mas atualmente pode ser empregada em várias atividades. As observações normalmente utilizadas são as pseudodistâncias ou as pseudodistâncias filtradas pela portadora. O método que utiliza somente a pseudodistância é mais empregado na prática. Esse método pode ser realizado em tempo real, muito embora possa também ser pós-processado.

Dessa forma, este artigo tem como objetivo gerar correções DGPS das pseudodistâncias moduladas no código C/A e aplicá-las em algumas estações. Além disso, será realizada uma análise dos resultados e apresentados os fundamentos teóricos do método.

O conteúdo deste artigo está organizado em 6 seções. A seção 1 apresentou o problema e o objetivo. Na seção 2 são apresentadas as principais características do DGPS. A seção 3 trata os aspectos teóricos envolvidos na implementação do DGPS. Já a seção 4 descreve a implementação computacional. Na seção 5 é descrito o experimento e são realizadas algumas análises dos resultados. Finalmente, a seção 6 apresenta algumas considerações finais do artigo.

2. CARACTERÍSTICAS DO DGPS

O conceito de DGPS envolve o uso de um receptor estacionário numa estação com coordenadas conhecidas, rastreando todos os satélites visíveis. O processamento dos dados nessa estação (posicionamento por ponto) permite que se calculem correções posicionais, bem como das pseudodistâncias observadas. Essas correções podem ser enviadas ao usuário através de um *link* de rádio.

As correções posicionais podem ser determinadas, pois as coordenadas da estação base são conhecidas. Já as correções das pseudodistâncias são baseadas nas diferenças entre as pseudodistâncias observadas (arquivo de observação) e as calculadas (a partir das coordenadas estação base e dos satélites), desde que leve em consideração os erros do relógio do satélite e receptor.

Estando a estação base localizada nas proximidades da região de interesse, há uma forte correlação entre os erros calculados na estação base e os erros da estação móvel. Dessa forma, se o usuário receber tais correções, ele poderá corrigir suas observações coletadas.

A aplicação de correções nas posições é o método mais simples de se utilizar o DGPS, mas é afetado se um dos satélites não for rastreado simultaneamente nas duas estações.

Quando se utilizam correções para a pseudodistância, não há necessidade do usuário rastrear a mesma constelação de satélites presente na estação base, pois só se aplicam as correções relacionadas aos satélites efetivamente rastreados nas duas estações. Por isso, foram utilizadas as correções da pseudodistância na realização desse trabalho.

É importante frisar também que quanto maior o intervalo de transmissão, menor será a acurácia da observável corrigida, pois a correlação entre as correções se reduz com o passar do tempo. A transmissão da variação da correção em razão do tempo, juntamente com a correção, visa reduzir este problema, e ao mesmo tempo reduzir a quantidade de informações a serem enviadas.

Com o desligamento da SA em 2 de maio de 2000 (o principal problema pelo qual o DGPS foi concebido), não haveria motivos para manter esse tipo de posicionamento. Entretanto, o número de aplicações que utilizam essa técnica de posicionamento é muito grande, fazendo com que seja cada vez mais aprimorado e utilizado, mesmo com o desligamento da SA.

3. ASPECTOS TEÓRICOS ENVOLVIDOS

As pseudodistâncias contêm erros como: erros do relógio do satélite e receptor, das efemérides e dos atrasos ionosférico e troposférico. Neste trabalho, os erros do relógio do satélite e do receptor foram corrigidos nas pseudodistâncias. O tratamento desses erros é descrito na próxima seção

3.1. CORREÇÃO DOS ERROS DO RELÓGIO DO SATÉLITE E RECEPTOR

O cálculo do erro do relógio do satélite (dt^s) foi realizado a partir dos coeficientes de um polinômio de segunda ordem enviados nas mensagens de navegação, dado por:

$$dt^s(t) = a_0 + a_1(t - t_{oc}) + a_2(t - t_{oc})^2 \quad (1)$$

sendo:

- $dt^s(t)$ é o erro do relógio do relógio no instante t da escala de tempo GPS;
- t_{oc} é o instante de referência do relógio;
- a_0 é o estado do relógio no instante de referência;
- a_1 é a marcha linear do relógio; e
- a_2 é a variação da marcha do relógio.

Para o cálculo do erro do relógio da estação (dt_r) foi utilizada a equação:

$$PD_r^s = \rho_r^s + c(dt_r - dt^s) \quad (2)$$

onde:

- PD é a pseudodistância medida entre o satélite r e receptor s , obtida nos arquivos de observação;
- ρ é a distância geométrica entre o satélite s no instante de transmissão e o receptor r no instante de recepção; e
- c é a velocidade da luz no vácuo.

Dessa forma, foi determinado um valor de dt_r para cada observação, e em seguida, calculada a média de todas as observações, obtendo assim, um único valor dt_r para a época específica, o que melhora sua qualidade.

Assim, foi obtida a pseudodistância corrigida dos erros do relógio do satélite e do receptor.

3.2. CÁLCULO DAS CORREÇÕES

A pseudodistância calculada foi obtida a partir das coordenadas conhecidas da estação base e das coordenadas dos satélites, essas últimas calculadas a partir das efemérides transmitidas. Além disso, a pseudodistância foi corrigida dos erros dos relógios do satélite e do receptor, conforme citado na sub-seção anterior.

Para determinar as correções da pseudodistância, a pseudodistância observada (arquivo de observação) foi subtraída da calculada. Desta forma, tais correções dependem apenas das condições atmosféricas. Em seguida, assim que dados de novas épocas fossem disponíveis, o processo era repetido e as variações das correções eram calculadas para serem disponibilizadas aos usuários juntamente com as correções. Logo, obtendo-se as correções das épocas t_i e t_{i+1} , por exemplo, pode-se calcular a variação da correção $\Delta\dot{p}$ como:

$$\Delta\dot{p} = \frac{\Delta p(t_{i+1}) - \Delta p(t_i)}{(t_{i+1} - t_i)} \quad (3)$$

Numa segunda estação, que coleta dados simultaneamente com a estação base, as correções podem ser aplicadas nas pseudodistâncias observadas. Realizando o posicionamento por ponto nessa estação, obtém-se então uma solução DGPS.

3.3. UTILIZANDO AS CORREÇÕES

O usuário que deseje utilizar as correções DGPS da pseudodistância na época t em relação a época t_0 deverá aplicar a seguinte equação:

$$\Delta p(t) = \Delta p(t_0) + \Delta\dot{p}(t_0)(t - t_0) \quad (4)$$

onde:

- $\Delta p(t)$ é a correção a ser aplicada;
- $\Delta p(t_0)$ é a correção na época t_0 ; e
- $\Delta\dot{p}(t_0)$ é a razão de variação da correção.

A correção diferencial Δp foi determinada utilizando pseudodistâncias moduladas no código C/A.

4. IMPLEMENTAÇÃO COMPUTACIONAL

Para realizar o posicionamento DGPS foi implementado um programa computacional em linguagem C/C++. Inicialmente, com dados da estação base calculou-se as correções da pseudodistância e as variações das correções, conforme descrito na seção 3.2.

Uma vez disponíveis as correções e as variações, estas foram aplicadas na estação de interesse, onde se corrigiu as pseudodistâncias. Com as pseudodistâncias corrigidas realizou-se o posicionamento por ponto da mesma forma que o convencional (MONICO, 2000, p. 186).

5. EXPERIMENTO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Para realizar o processamento foram utilizados dados coletados por receptores Trimble 4000 SSI nas estações UEPP, PARA, VICO, POAL e MANA da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC). Para gerar as correções foi utilizada como estação base a UEPP. Utilizou-se duas horas de dados, das 12h as 14h (horário local), do dia 04 de abril de 2003. Os dados foram processados com intervalo de 1 minuto, totalizando 120 épocas. As coordenadas conhecidas das estações UEPP, PARA, VICO e MANA foram obtidas no ITRF 2000. Já as coordenadas da estação POAL foram obtidas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas (IBGE).

Para verificar a consistência da implementação realizada, foram calculadas as discrepâncias entre as coordenadas obtidas a partir do posicionamento por ponto utilizando as correções DGPS e as conhecidas. Além disso, também foram calculadas as discrepâncias entre as coordenadas obtidas através do posicionamento por ponto convencional e as coordenadas conhecidas.

Para análise, as discrepâncias entre as coordenadas corrigidas pelo uso da correção DGPS e pelo posicionamento por ponto convencional podem ser vistas nas figuras 01 a 12.

As figuras 01 a 03 ilustram as discrepâncias para a estação PARA.

FIGURA 01 – DISCREPÂNCIAS EM X PARA A ESTAÇÃO PARA – CURITIBA-PR

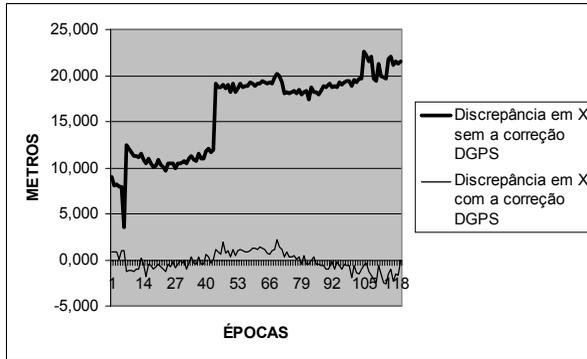


FIGURA 02 – DISCREPÂNCIAS EM Y PARA A ESTAÇÃO PARA – CURITIBA-PR

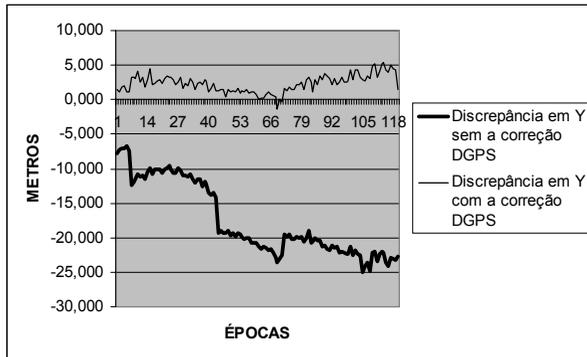
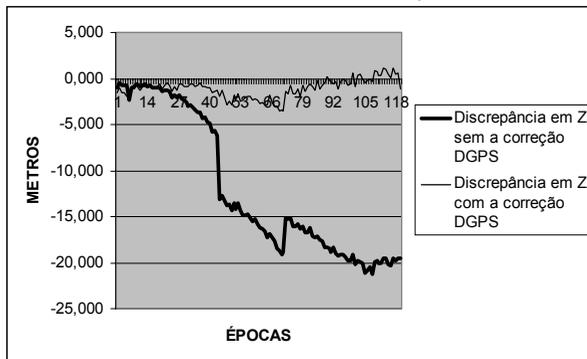


FIGURA 03 – DISCREPÂNCIAS EM Z PARA A ESTAÇÃO PARA – CURITIBA-PR



Observando os gráficos 01 a 03 nota-se que para a estação PARA, que está a aproximadamente 430 Km da estação base, as correções DGPS melhoraram de forma significativa a acurácia das coordenadas em relação ao posicionamento por ponto convencional.

Para a estação VICO, que está a aproximadamente 897 Km, os resultados também foram satisfatórios, apesar da maior separação entre as estações. Isto pode ser observado nas figuras 04 a 06.

FIGURA 04 – DISCREPÂNCIAS EM X PARA A ESTAÇÃO VICO – VIÇOSA-MG

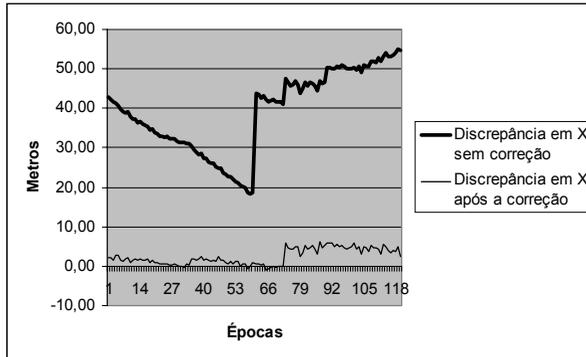


FIGURA 05 – DISCREPÂNCIAS EM Y PARA A ESTAÇÃO VICO – VIÇOSA-MG

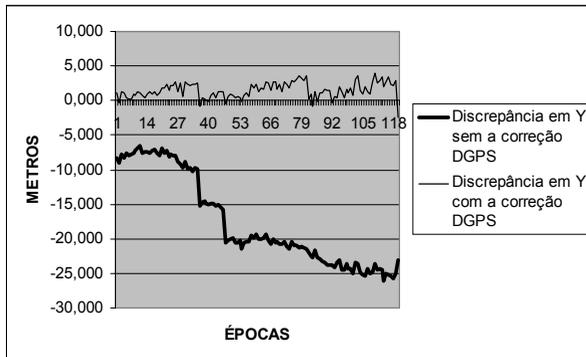
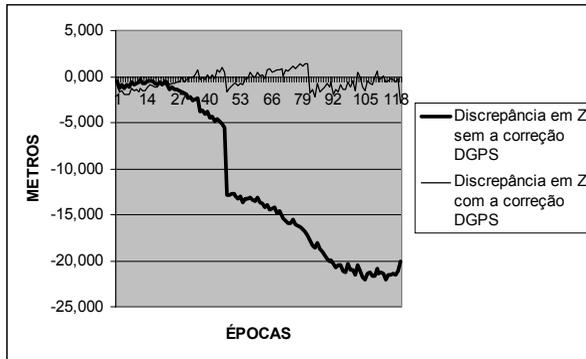


FIGURA 06 – DISCREPÂNCIAS EM Z PARA A ESTAÇÃO VICO – VIÇOSA-MG



As figuras 07 a 09 ilustram as discrepâncias para a estação POAL, que está a aproximadamente 880 Km da estação base. Nesta estação, as correções DGPS também melhoraram a acurácia das coordenadas em relação ao posicionamento por ponto convencional.

FIGURA 07 – DISCREPÂNCIAS EM X PARA A ESTAÇÃO POAL – PORTO ALEGRE-RS

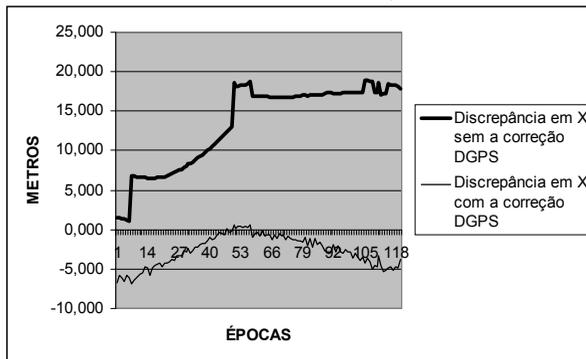


FIGURA 08 – DISCREPÂNCIAS EM Y PARA A ESTAÇÃO POAL – PORTO ALEGRE -RS

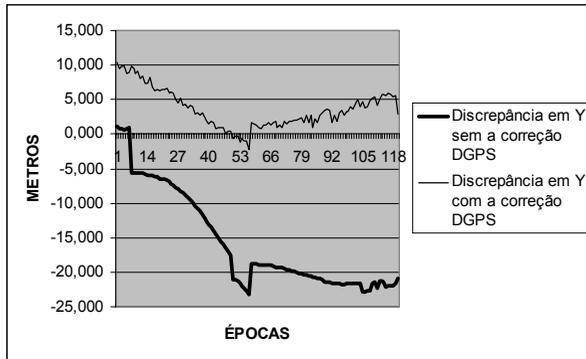
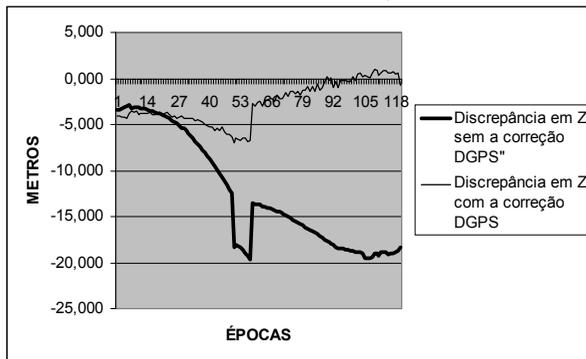


FIGURA 09 – DISCREPÂNCIAS EM Z PARA A ESTAÇÃO POAL – PORTO ALEGRE-RS



Finalmente, as discrepâncias para a estação MANA estão descritas nas figuras 10 a 12.

FIGURA10 – DISCREPÂNCIAS EM X PARA A ESTAÇÃO MANA – MANAUS-AM

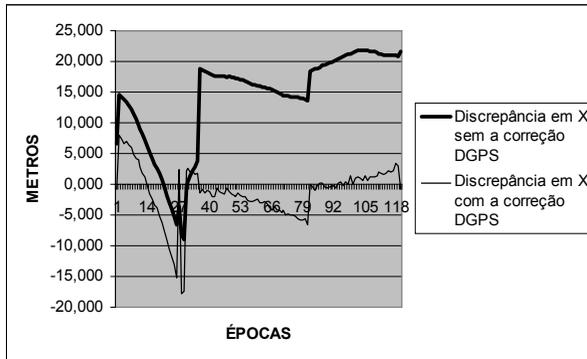


FIGURA11 – DISCREPÂNCIAS EM Y PARA A ESTAÇÃO MANA – MANAUS-AM

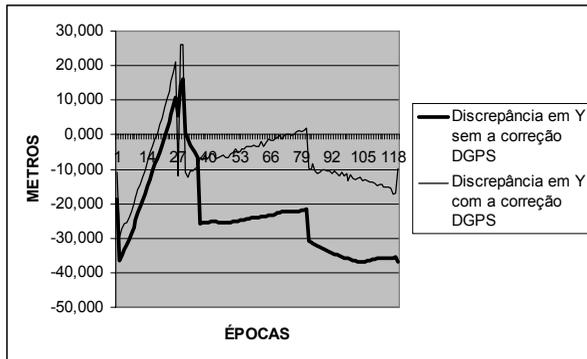
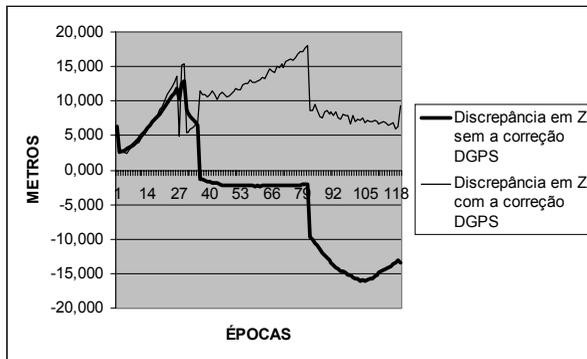


FIGURA12 – DISCREPÂNCIAS EM Z PARA A ESTAÇÃO MANA – MANAUS-AM



Para a estação MANA, que está a aproximadamente 2288 Km da estação base, as correções DGPS melhoraram a acurácia das coordenadas mas as discrepâncias em relação as coordenadas conhecidas foram maiores que nas outras estações. Isso se deve ao fato de não existir uma forte correlação entre os erros calculados na estação base e os erros da estação MANA, tal como esperado.

As médias das discrepâncias mostradas nos gráficos de 1 a 12 são apresentadas na tabela 1. Pode-se observar resultados melhores após a aplicação das correções. Por outro lado, os valores das discrepâncias para o posicionamento por ponto convencional está acima do esperado.

TABELA 1 – MÉDIAS DAS DISCREPÂNCIAS

Médias Estações	Médias sem correção			Médias com correção		
	X	Y	Z	X	Y	Z
PARA	16,149	17,519	11,990	0,854	2,352	1,221
VICO	18,851	17,547	11,656	3,943	1,576	0,842
POAL	13,417	15,813	12,560	2,765	3,771	2,833
MANA	14,744	24,724	7,431	3,146	9,520	9,584

6. CONCLUSÃO

Dos resultados obtidos observa-se que a utilização do programa computacional para o posicionamento DGPS, permitiu melhorar a acurácia das coordenadas das estações mais próximas de forma significativa. Esses resultados de alguma forma comprovam a consistência da implementação.

No entanto, para distâncias muito grandes, como esperado, o DGPS não trouxe muitas vantagens em relação ao posicionamento convencional.

Numa próxima etapa pretende-se ampliar o número de testes, inclusive analisando a taxa de atualização, mais eficaz para o DGPS.

7. BIBLIOGRAFIA

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 26 de novembro 2002.

MONICO, J.F.G. **Posicionamento pelo NAVSTAR GPS.** Ed. Unesp. São Paulo, 2000.

8. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem às agências de fomentos (FAPESP E CAPES) pelo apoio financeiro. Também agradecem o IBGE por fornecer os dados necessários para os experimentos.

INTEGRAL ELÍPTICA APLICADA AOS PROBLEMAS DIRETO E INVERSO DA GEODÉSIA: ESTABILIDADE DOS MÉTODOS DE INTEGRAÇÃO NUMÉRICA E DISCREPÂNCIA ENTRE AS SOLUÇÕES DIRETA E INVERSA

Guataçara dos Santos Junior¹
CamilGemael²
Sílvio Rogério Correia de Freitas²
Jair Silveira da Silva Junior²

- 1 Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná – Unidade de Ponta Grossa - guata@pg.cefetpr.br
- 2 Universidade Federal do Paraná – sfreitas@ufpr.br

RESUMO

Neste trabalho são apresentados conceitos necessários para a obtenção das integrais elípticas aplicadas aos problemas direto e inverso da geodésia. A dedução dessas integrais elípticas tem início com a obtenção das equações diferenciais da linha geodésica com auxílio de um triângulo elipsóidico infinitesimal. Essas equações diferenciais, as quais estão escritas em função da latitude, longitude, azimute e da distância, são escritas em função de uma única variável. Na integração destas, os integrandos são funções quase constantes, diferindo muito pouco do valor um. As diferenças dos limites de integração já representam aproximadamente os resultados da integração numérica e por isso o cálculo numérico das integrais elípticas é sobretudo seguro, não apresentando descontinuidades em todo campo de aplicação. Com poucos pontos de apoio (as abscissas) e de maneira simples, apresentam ótima precisão. Apresenta-se também neste trabalho uma análise da regra dos trapézios, regra de Simpson e fórmula gaussiana, visando verificar a estabilidade desses métodos de integração numérica na solução dos problemas direto e inverso quando comparadas com a solução que o programa Maple fornece na solução das integrais elípticas. A consistência do método é constatada pela discrepância apresentada entre as soluções direta e inversa bem como pelo cálculo recíproco do problema direto. Conclui-se o trabalho com recomendações a respeito do método mais adequado para cada comprimento de linha utilizado, no que diz respeito à simplicidade do uso e acurácia dos resultados. Apresenta-se também uma análise da discrepância entre a solução destes problemas, utilizando a metodologia proposta.

Palavras-chave: Problemas Direto e Inverso da Geodésia; Integral Elíptica; Integração Numérica.

ABSTRACT

This study presents the necessary concepts for the obtaining of the elliptic integrals applied to the direct and inverse problems of the geodesy. The deduction of those elliptic integrals has beginning by obtaining the differential equations of the geodetic line with aid of an infinitesimal ellipsoidal triangle. Those equations differentiate, which are functions of the latitude, longitude, azimuth and of the distance, they are written in function of an only variable. In the integration of these, the kerns are almost constant functions, differing little of the value one. Its differences of the integration limits represent approximately the results of the numeric integration and for that the numeric computation of the elliptic integrals is on everything safe, not presenting discontinuities in every application field. With few support points and in a simple way, they present good precision. This study also does an analysis of the rule of the trapezes, rule of Simpson and Gauss formula, seeking to verify the stability of those methods of numeric integration in the solution of the geodetic direct and inverse problems, when compared with the solution that the program Maple supplies in the solution of the elliptic integrals. The consistence of the method is verified by the little discrepancy presented among the direct and inverse solutions as well as for the reciprocal computation of the direct problem. This study is concluded with recommendations regarding the most appropriate method for each line length used, undergoing the simplicity of the use and accuracy of the results. It is also presented an analysis of the discrepancy between the solution of these problems, using the proposed methodology.

Keywords : Problems Direct and Inverse of Geodesy; Integral Elliptic; Numeric Integration.

1. INTRODUÇÃO

O modelo adotado para representar a forma terrestre é o elipsóide de revolução, apresentando as vantagens de não produzir grandes desvios em relação à forma da Terra e ao mesmo tempo ser definido por dois parâmetros geométricos: o semi-eixo maior e o achatamento. Enfatiza-se que o elipsóide é a forma matemática da Terra. Assim em Geodésia, as operações geométricas são efetuadas sobre o elipsóide de revolução.

Dados dois pontos sobre a superfície do elipsóide de revolução, onde em um primeiro ponto são conhecidas as quantidades φ_1 (latitude geodésica), λ_1 (longitude geodésica), α_1 (azimute geodésico da direção 1-2) e s (distância entre os dois pontos). O cálculo de $\Delta\varphi$, $\Delta\lambda$ e $\Delta\alpha$ que somados às quantidades conhecidas do ponto 1, resultarão nas quantidades procuradas no ponto 2: φ_2 , λ_2 e α_2 (da direção 2-1). Isto define de maneira simples o problema direto da geodésia.

Dados dois pontos sobre a superfície de revolução, onde no ponto 1 são conhecidas as quantidades φ_1 e λ_1 e no ponto 2 são conhecidas as quantidades φ_2 e λ_2 , o problema inverso da geodésia objetiva o cálculo do comprimento da linha geodésica s , do azimute geodésico α_1 no ponto 1 e do azimute geodésico α_2 no ponto 2.

1.1. DIFERENCIAIS DA LINHA GEODÉSICA

Conforme a figura 01, tem-se um triângulo elipsóidico infinitesimal ABC, onde α é o azimute geodésico, ds é um arco elementar da linha geodésica, $Md\varphi$ é um arco elementar da elipse meridiana e $N\cos\varphi d\lambda$ é o elemento de arco de um paralelo.

No triângulo ABC a tangente do ângulo α é escrita como:

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{N\cos\varphi d\lambda}{Md\varphi}, \quad (1)$$

$$d\lambda = \frac{M\operatorname{tg}\alpha d\varphi}{N\cos\varphi}. \quad (2)$$

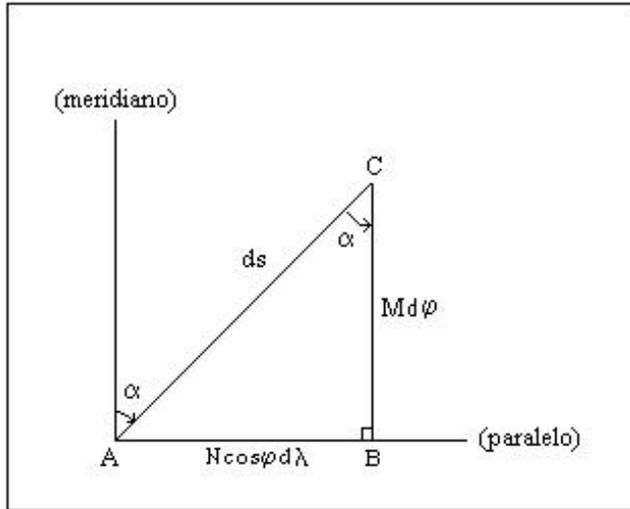
Substituindo as expressões de N e M , respectivamente raio de curvatura da seção primeiro vertical e raio de curvatura da seção meridiana, na (2), obtém-se

$$d\lambda = \frac{\left(1 - e^2\right) g \alpha}{\left(1 - e^2 \sin^2 \varphi\right) \cos \varphi} d\varphi. \quad (3)$$

Ainda no triângulo ABC da figura 01, o co-seno do ângulo α , é escrito como

$$\cos \alpha = \frac{Md\varphi}{ds}, \quad (4)$$

FIGURA 01 - TRIÂNGULO ELIPSÓIDICO INFINITESIMAL



$$ds = \frac{Md\phi}{\cos \alpha} \cdot \tag{5}$$

Com auxílio da expressão de M, escreve-se a segunda expressão diferencial desejada:

$$ds = \frac{a(1-e^2)}{(1-e^2 \sin^2 \phi)^{\frac{3}{2}} \cos \alpha} d\phi \tag{6}$$

2. INTEGRAIS ELÍPTICAS EXPRESSAS POR UMA ÚNICA VARIÁVEL

De acordo com SCHMIDT (1999, p. 123), as equações diferenciais (3) e (6) não podem ser integradas numericamente, uma vez que a longitude, a latitude, o azimute e a distância, ao longo da linha geodésica variam de modo não proporcional um para com o outro. Sendo assim, procura-se em um primeiro momento escrever essas equações diferenciais em função de uma única variável. De acordo com o desenvolvimento pormenorizado em SANTOS JUNIOR(2002, p. 28), têm-se

$$s = a \int_{v_1}^{v_2} \sqrt{1-e^2 [1-(1-h^2) \sin^2 v]} dv \tag{7}$$

e

$$\Delta\lambda = \int_{w_1}^{w_2} \sqrt{1 - \frac{e^2 h^2}{h^2 + (1-h^2)\text{sen}^2 w}} dw . \quad (8)$$

Estas expressam respectivamente a distância e a diferença de longitude entre dois pontos da linha geodésica na forma integrável numericamente. São “a” e “e” respectivamente semi-eixo maior e excentricidade da elipse meridiana do elipsóide de revolução adotado, h sendo denominada aqui por segunda constante de Clairaut e obtida a partir do teorema de Clairaut exposto, por exemplo, em GEMAEL (1959, p. 45). As variáveis de integração nas (7) e (8) são respectivamente v e w.

O cálculo numérico das integrais elípticas definidas (7) e (8), as quais possuem respectivamente como função integradora f(v) e f(w), ambas bem comportadas, com poucos pontos de apoio (as abscissas), de maneira simples e, sobretudo seguro, apresenta ótima precisão conforme ilustram as figuras 02, 03, 04 e 05 para alguns casos particulares de h.

FIGURA 02 – COMPORTAMENTO DA FUNÇÃO f(v) PARA h = -1

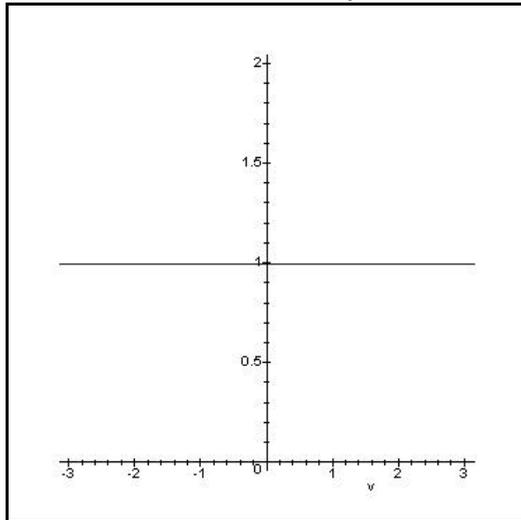


FIGURA 03 – COMPORTAMENTO DA FUNÇÃO $f(v)$ PARA $h = -0,5$

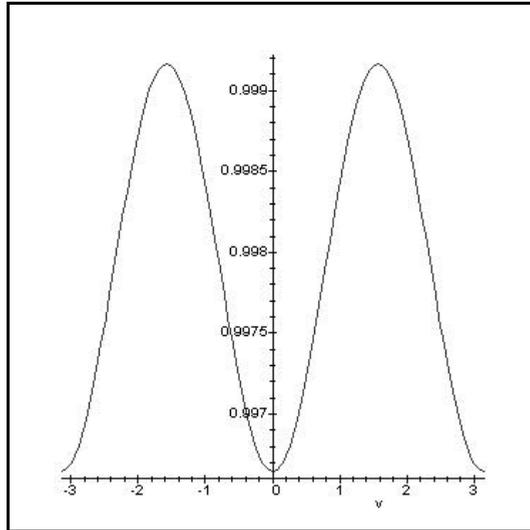


FIGURA 04 – COMPORTAMENTO DA FUNÇÃO $f(w)$ PARA $h = -1$

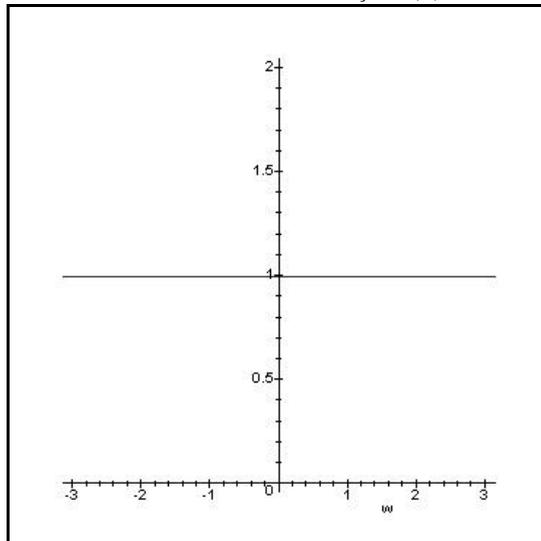
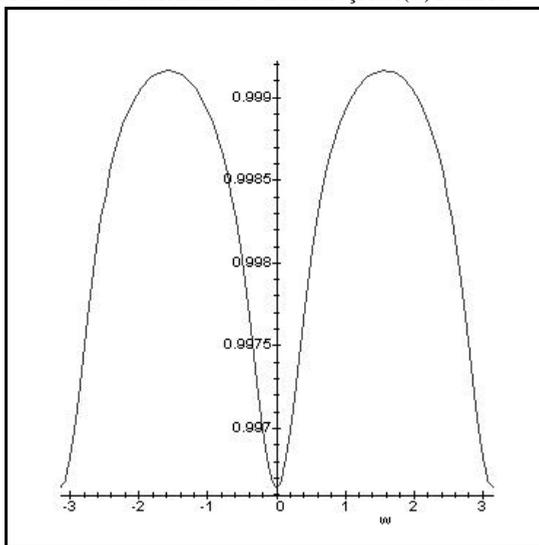


FIGURA 05 – COMPORTAMENTO DA FUNÇÃO $f(w)$ PARA $h = -0,5$ 

As funções $f(v)$ e $f(w)$ são estritamente contínuas com $\{h \in \mathfrak{R} / -1 \leq h \leq 1\}$, $v \in \mathfrak{R}$, $w \in \mathfrak{R}$ e também são quase constantes em todo campo de aplicação, diferindo muito pouco do valor 1. As diferenças dos limites de integração já representam aproximadamente os resultados da integração e por isso a integração numérica fornece, com poucos pontos de apoio, ótimos resultados.

3. MÉTODOS DE INTEGRAÇÃO NUMÉRICA UTILIZADOS

Uma discussão sobre os procedimentos utilizados para resolver integrais elípticas é exposto em RÖSCH e KERN (2000, p. 209).

Utilizou-se neste trabalho os métodos: regra dos trapézios, regra de Simpson e a fórmula gaussiana.

Maiores detalhes nos métodos numéricos para resolver integrais, pode ser encontrados por exemplo, em SCHEID (1991, p. 153).

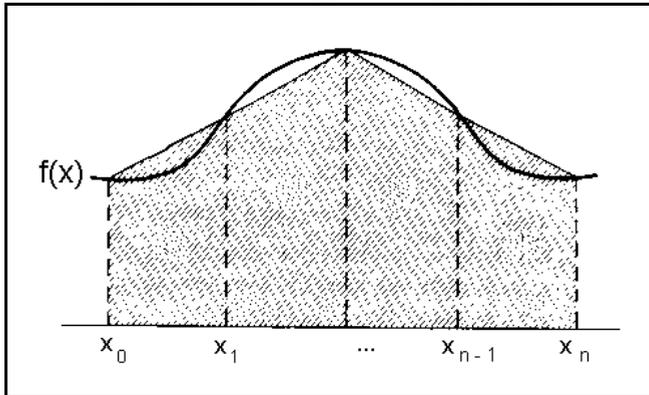
3.1. REGRA DOS TRAPÉZIOS

Esta regra é uma fórmula onde a área sob a curva dada pela função, é dividida em n trapézios, e a soma de suas áreas resulta na integral definida aproximada;

$$\int_{x_0}^{x_n} f(x)dx \cong \frac{1}{2} t [f(x_0) + 2f(x_1) + \dots + 2f(x_{n-1}) + f(x_n)] \quad (9)$$

que usa segmentos de reta ligados, em que x_n e x_0 são respectivamente os limites superior e inferior de integração, t é o tamanho dos n subintervalos, como por exemplo ilustra a figura 06, como aproximação para $f(x)$.

FIGURA 06 – REGRA DOS TRAPÉZIOS COMPOSTA



3.2. REGRA DE SIMPSON

Neste caso, ao invés de segmentos de retas, a cada três pontos ajusta-se uma parábola do tipo $y = a_1 x^2 + a_2 x + a_3$, em que se aproxima mais da curva dada. A soma das n áreas sob a curva resulta na integral definida aproximada. Esta regra é também uma fórmula composta da forma

$$\int_{x_0}^{x_n} f(x)dx \cong \frac{t}{3} [f(x_0) + 4f(x_1) + 2f(x_2) + 4f(x_3) + \dots + 2f(x_{n-2}) + 4f(x_{n-1}) + f(x_n)], \quad (10)$$

em que

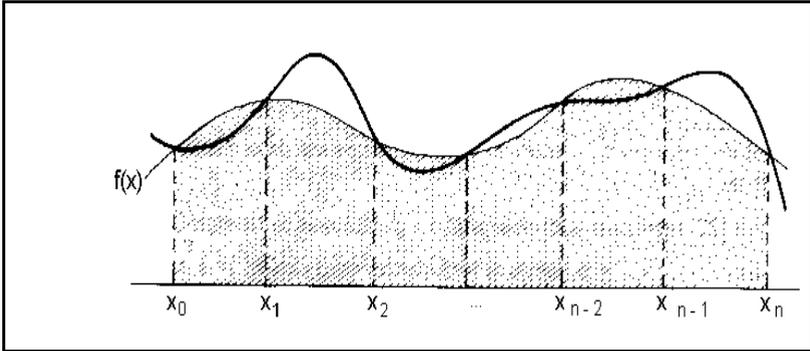
$$t = \frac{x_n - x_0}{n} \quad (11)$$

e

$$x_{i+1} = x_i + t, \text{ com } i = 0, 1, 2, \dots, n-1, \quad (12)$$

que resulta de seções de parábolas como aproximação para $f(x)$, isto é, aproxima-se $f(x)$ por um polinômio de grau 2 conforme ilustra a figura 07. Observa-se que para a aplicação da regra de Simpson é necessário que uma vez dividido o intervalo $[x_0, x_n]$ em n partes, n deve ser par.

FIGURA 07 – REGRA DE SIMPSON



3.3 FÓRMULA GAUSSIANA

Faz-se uma mudança de variável na integral definida $\int_{x_0}^{x_n} f(x)dx$, ou seja,

determinam-se os parâmetros associados às fórmulas de integração, introduzindo-se a mudança de variável

$$x = x_0 + \frac{(x_n - x_0)}{2}(m+1), \quad (13)$$

de forma que o intervalo original $[x_0, x_n]$ é transformado no intervalo fechado normalizado $[-1, 1]$, ou seja,

$$x = x_0 \Rightarrow m = -1, \quad (14)$$

$$x = x_n \Rightarrow m = 1, \quad (15)$$

e

$$dx = \frac{(x_n - x_0)}{2} dm, \quad (16)$$

então, obtém-se

$$\int_{x_0}^{x_n} f(x)dx = \int_{-1}^1 F(m) \cdot \frac{(x_n - x_0)}{2} dm = \frac{x_n - x_0}{2} \int_{-1}^1 F(m)dm, \quad (17)$$

em que

$$F(m) = f \left[x_0 + \frac{(x_n - x_0)}{2}(m+1) \right]. \quad (18)$$

Assim, de acordo com o desenvolvimento exposto em WOLUPECK (199 -, p. 17), pode-se calcular numericamente uma integral definida pela fórmula gaussiana utilizando-se

$$\int_{x_0}^{x_n} f(x)dx \cong \frac{(x_n - x_0)}{2} [p_1 \cdot F(m_1) + p_2 \cdot F(m_2) + \dots + p_n \cdot F(m_n)], \quad (19)$$

com

$$F(m_i) = f \left[x_0 + \frac{(x_n - x_0)}{2}(m_i + 1) \right] \quad (20)$$

e $i = 1, 2, 3, \dots, n$, onde $p_1, p_2, p_3, \dots, p_n$, são os pesos e $m_1, m_2, m_3, \dots, m_n$, são os pontos amostrais.

Os pontos amostrais com seus respectivos pesos são obtidos, por exemplo, conforme desenvolvimento exposto em SCHEID (1991, p. 189). O quadro com os pontos amostrais com seus respectivos pesos para $n = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7$ e 8 pode ser encontrado em (SANTOS JUNIOR, 2002, p. 52).

4. APRESENTAÇÃO E SOLUÇÃO DO PROBLEMA

Em todos os cálculos trabalhou-se com os parâmetros geométricos do elipsóide de revolução adotado pelo SAD-69: semi-eixo maior $a = 6378160$ m e achatamento

$f = \frac{1}{298,25}$. No problema direto foi considerado o ponto inicial com latitude $\varphi = -$

$25^{\circ}05'41,64421''$, longitude $\lambda = -50^{\circ}06'16,74381''$, e com azimute $\alpha_1 = 45^{\circ}$, fazendo variar o comprimento da linha geodésica em 1 m, 1000 m, 500000 m, 1000000 m. Com os dados do ponto inicial e o resultado do problema direto, calculou-se o problema inverso. Com isso objetiva-se avaliar a estabilidade das soluções dos problemas direto e inverso quando aplicados os diferentes métodos

numéricos de integração na solução das integrais elípticas (7) e (8) e também o comportamento do método quanto à discrepância apresentada entre os problemas direto e inverso. Impondo a condição que a solução numérica das integrais elípticas fornecida pelo Maple é a “ideal”, pode-se então falar em acurácia dos resultados obtidos quando utilizado a regra dos trapézios ou Regra de Simpson ou fórmula gaussiana, desde que comparadas com a solução obtida quando utilizado o Maple na integração numérica. Isto pode ser considerado, pois nos cálculos verifica-se que há uma convergência das soluções obtidas com a regra dos trapézios, Simpson e fórmula gaussiana para a solução obtida quando utilizado o programa Maple na resolução das integrais elípticas. Desta forma, nos quadros 01 a 08, estão sendo apresentados a fração do segundo de arco da solução obtida quando utilizados os métodos numéricos de integração apresentados neste trabalho, concordam com a solução obtida quando utilizou-se o programa Maple para resolver as integrais elípticas.

As discrepâncias entre as soluções dos problemas direto e inverso são apresentadas no quadro 09.

QUADRO 01– ESTABILIDADE DOS MÉTODOS DE INTEGRAÇÃO NUMÉRICA NO PROBLEMA DIRETO PARA $s=1$ m

Métodos	Latitude (")	Longitude (")	Contra-Azimute (")
Maple	0	0	0
Regra dos trapézios n=1	0	0	0
Regra de Simpson n=2	0	0	0
Fórmula gaussiana n=8	0	0	0

QUADRO 02– ESTABILIDADE DOS MÉTODOS DE INTEGRAÇÃO NUMÉRICA NO PROBLEMA DIRETO PARA $s=1000$ m

Métodos	Latitude (")	Longitude (")	Contra-Azimute (")
Maple	0	0	0
Regra dos trapézios n=1	10^{-9}	10^{-10}	10^{-9}
Regra de Simpson n=2	10^{-18}	10^{-18}	10^{-18}
Fórmula gaussiana n=8	10^{-13}	10^{-12}	10^{-17}

QUADRO 03– ESTABILIDADE DOS MÉTODOS DE INTEGRAÇÃO NUMÉRICA NO PROBLEMA DIRETO PARA $s=500000$ m

Métodos	Latitude (")	Longitude (")	Contra-Azimute (")
Maple	0	0	0
Regra dos trapézios n=1	10^{-1}	10^{-1}	10^{-2}
Regra de Simpson n=2	10^{-5}	10^{-5}	10^{-5}
Fórmula gaussiana n=8	10^{-7}	10^{-6}	10^{-7}

QUADRO 04– ESTABILIDADE DOS MÉTODOS DE INTEGRAÇÃO NUMÉRICA NO PROBLEMA DIRETO PARA $s=1000000$ m

Métodos	Latitude (")	Longitude (")	Contra-Azimute (")
Maple	0	0	0
Regra dos trapézios n=1	10^0	10^{-1}	10^{-1}
Regra de Simpson n=2	10^{-3}	10^{-4}	10^{-2}
Fórmula gaussiana n=8	10^{-6}	10^{-5}	10^{-6}

QUADRO 05– ESTABILIDADE DOS MÉTODOS DE INTEGRAÇÃO NUMÉRICA NO PROBLEMA INVERSO PARA $s=1$ m

Métodos	Azimute (")	Contra-Azimute (")	Distância (m)
Maple	0	0	0
Regra dos trapézios n=1	10^{-12}	10^{-11}	10^{-16}
Regra de Simpson n=2	10^{-12}	10^{-12}	10^{-17}
Fórmula gaussiana n=8	10^{-9}	10^{-9}	10^{-14}

QUADRO 06– ESTABILIDADE DOS MÉTODOS DE INTEGRAÇÃO NUMÉRICA NO PROBLEMA INVERSO PARA $s=1000$ m

Métodos	Azimute (")	Contra-Azimute (")	Distância (m)
Maple	0	0	0
Regra dos trapézios n=1	10^{-6}	10^{-6}	10^{-8}
Regra de Simpson n=2	10^{-14}	10^{-18}	10^{-16}
Fórmula gaussiana n=8	10^{-9}	10^{-9}	10^{-11}

QUADRO 07– ESTABILIDADE DOS MÉTODOS DE INTEGRAÇÃO NUMÉRICA NO PROBLEMA INVERSO PARA $s=500000$ m

Métodos	Azimute (")	Contra-Azimute (")	Distância (m)
Maple	0	0	0
Regra dos trapézios n=1	10^{-1}	10^{-1}	10^0
Regra de Simpson n=2	10^{-4}	10^{-4}	10^{-3}
Fórmula gaussiana n=8	10^{-9}	10^{-9}	10^{-9}

QUADRO 08– ESTABILIDADE DOS MÉTODOS DE INTEGRAÇÃO NUMÉRICA NO PROBLEMA INVERSO PARA $s=1000000$ m

Métodos	Azimute (")	Contra-Azimute (")	Distância (m)
Maple	0	0	0
Regra dos trapézios n=1	10^0	10^0	10^1
Regra de Simpson n=2	10^{-3}	10^{-3}	10^{-2}
Fórmula gaussiana n=8	10^{-9}	10^{-9}	10^{-8}

QUADRO 09– DISCREPÂNCIA ENTRE OS PROBLEMAS DIRETO E INVERSO

Linhas	Discrepância em Azimute (")	Discrepância em Contra – Azimute (")	Discrepância no Comprimento da linha Geodésica (m)
1 m	5.10^{-5}	4.10^{-5}	6.10^{-10}
1000 m	7.10^{-10}	7.10^{-10}	3.10^{-12}
500000 m	6.10^{-9}	6.10^{-8}	2.10^{-6}
1000000 m	9.10^{-7}	1.10^{-6}	2.10^{-5}

5. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste estudo do método proposto, constata-se que realmente há uma rápida convergência nos cálculos das quantidades procuradas. Pela exposição numérica apresentada neste trabalho, verificou-se que na maioria dos testes, basta utilizar a regra dos trapézios ou a regra de Simpson na integração numérica nos casos mais simples, ou seja, com $n=1$ ou $n=2$ respectivamente. Isto se deve ao fato que as funções integrandos das duas integrais elípticas utilizadas na solução dos problemas direto e inverso, são bem comportadas, isto é, são estritamente contínuas e suaves em todo campo de aplicação, além de apresentarem uma pequena variação em suas ordenadas. Pode-se conferir estes fatos nas figuras 02 a 05. A consistência do método apresentado neste trabalho para a solução dos problemas direto e inverso pode ser verificada analisando a discrepância apresentada entre as soluções direta e inversa.

Outro fato importante foi o de não ter deixado a solução das integrais elípticas atreladas a um *software* matemático, pois de acordo com a análise dos resultados foi possível identificar, dos métodos para integração numérica utilizados neste trabalho, qual é o que traz resultados satisfatórios para os diversos comprimentos de linha utilizados.

A grande vantagem é a eficácia do método apresentado neste trabalho para a solução dos problemas direto e inverso da Geodésia, pois os resultados apresentados mostram que, além de se conseguir precisão na ordem desejada, a discrepância apresentada entre a solução direta e inversa possui valor insignificante do ponto de vista físico. Como isso não bastasse, com essa metodologia pormenorizada é possível uma solução favorável aos problemas principais geodésicos para qualquer distância.

6. CONCLUSÃO

É importante observar que na resolução de tais problemas geodésicos, o procedimento utilizado para resolver tais integrais elípticas pode influenciar nos resultados. A regra de Simpson, devido a sua simplicidade e eficácia nos cálculos do problema direto, é recomendada no seu caso mais simples, ou seja, com $n = 2$ para as linhas que medem até 500 km, fazendo-se necessário utilizar $n = 4$ para linhas entre 500 km e 1000 km.

A regra dos trapézios no seu caso mais simples, com $n = 1$, é recomendada para o cálculo do problema direto para linhas de até 40 km.

A fórmula gaussiana com $n = 8$ é sugerida para as linhas acima de 500 km, uma vez que é muito trabalhosa o seu uso e mesmo porque para linhas menores, Simpson que é mais simples na aplicação, é eficiente.

O cálculo do problema inverso, utilizando a regra dos trapézios com $n = 1$, é recomendado apenas para linhas até 500 m.

Recomenda-se para o cálculo do problema inverso a aplicação da regra de Simpson com $n = 2$ na integração numérica para linhas até 500 km e $n = 4$ para linhas entre 500 km e 1000 km, pois a fórmula gaussiana apesar de ter propiciado também ótimos resultados, é mais trabalhosa de ser utilizada, principalmente com $n = 8$.

7. REFERÊNCIAS

GEMAEL, C. **Geodésia Elementar**: 1º Caderno. Diretório Acadêmico de Engenharia do Paraná. Publicação n. 56. Curitiba, 1959.

RÖSCH, N.; KERN, M. Die direkte Berechnung elliptischer Integrale. **Zeitschrift für Vermessungswesen**, Stuttgart, 2000, v.125, n.6, p. 209-213.

SANTOS JUNIOR, G. **Utilização da Integral Elíptica para a Solução dos Problemas Direto e Inverso da Geodésia**. Curitiba, 2002, 165 f. Dissertação (mestrado) – Departamento de Geomática, Universidade Federal do Paraná.

SCHEID, F. **Análise Numérica**. 2. ed. Lisboa, 1991, McGraw-Hill.

SCHMIDT, H. Lösung der geodätischen Hauptaufgaben auf dem Rotationsellipsoid mittels numerischer Integration. **Zeitschrift für Vermessungswesen**, Stuttgart, 1999, v. 124, n. 4. p. 121-128.

WOLUPECK, ANDERSON. **Cálculo Numérico e Aplicações**. Departamento Acadêmico de Informática. Curitiba, 1997, CEFET-PR.

APLICAÇÕES DE MÉTODOS GEODÉSICOS NO CONTROLE DIMENSIONAL DE EDIFICAÇÕES

Fernando José de Lima Botelho¹
Andrea de Seixas²
Tarcísio Ferreira da Silva³
Verônica Maria Costa Romão⁴

- 1 Universidade Federal Rural de Pernambuco – fbotelho@unicap.br
- 2 Universidade Federal de Pernambuco – aseixas@ufpe.br
- 3 Universidade Federal de Pernambuco – tarcisiofs@yahoo.de
- 4 Universidade Federal de Pernambuco – vcosta@ufpe.br

RESUMO

O presente trabalho apresenta uma metodologia de controle dimensional de edificação por meio de métodos geodésicos empregados no estabelecimento de um sistema primário de medição, o qual deve ser georeferenciado à Rede de Referência Municipal, em atendimento à norma 14.166 da ABNT, permitindo com isso a atualização das plantas topográficas cadastrais pelas respectivas prefeituras.

Palavras-chave: Controle Dimensional de Edificações; Rede Primária Geodésica; Normas da ABNT.

1. INTRODUÇÃO

Na engenharia civil, várias obras realizam permanentemente o controle dimensional, como as grandes barragens, estradas, ferrovias, ou obras que por algum motivo venha utilizá-lo por todo o período de suas etapas construtivas. O ramo da ciência requerido para este controle dimensional é a Topografia no sentido estrito ou Geodésia no sentido abrangente. Entretanto, profissionais atuantes na arquitetura e engenharia de edificações foram preparados quase sempre, com deficiência neste campo de sua atuação profissional. Eles não receberam de forma atualizada as competências e conteúdos de posicionamento geodésico e mensuração para entender que a sua aplicação melhora o controle dimensional de edificações, adotando-o como estratégia viável, visando à racionalização construtiva, sempre em busca da qualidade no sentido quantificável ou “tecnológico” do produto. Em vez

disso, nas décadas de 1970/80 permitia-se ao engenheiro civil desprezar os erros na geometria da edificação, ou seja “tirar as diferenças na massa”, i.e, era quase inexistente o controle dimensional das edificações.

O controle dimensional de edificações deve iniciar-se no levantamento topográfico do terreno, com seu posicionamento geodésico em um sistema primário amarrado a redes de referência cadastrais oficiais, devendo continuar durante a fase de elaboração e compatibilização de projetos arquitetônico, estrutural e nas fases de locação do edifício e de suas partes ou etapas. Ao término das obras, deve ser elaborado o projeto *as built* ou “projeto como construído”. Utilizando este procedimento, está-se contribuindo na confecção de planta para a atualização do Cadastro Imobiliário do Município, de acordo com a NBR 15.645, parte1.

O presente trabalho pretende, desta forma, contribuir com a difusão de técnicas geodésicas na construção civil racionalizada. Além disso, propor a elaboração de uma base geométrica comum, a todos os projetos envolvidos na obra de engenharia, que permita a integração entre os diversos projetos relacionados.

Aborda ainda questões relacionadas as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) relacionadas ao levantamento topográfico (NBR 13133-1994), rede de referência cadastral municipal (NBR14166-1998) e elaboração do projeto como construído (NBR 15645-2000).

2. QUALIDADE NA ENGENHARIA

2.1 RETROSPECTIVA HISTÓRICA

A partir da década passada, os setores produtivos da construção civil têm se envolvido na qualidade de processos e produtos. Nesta perspectiva de qualidade, este segmento da construção civil busca a certificação pelas normas da série ISO9000. Segundo BARROS(2001), outra alternativa que tem sido utilizada nas empresas consiste da implantação de programas de racionalização construtiva que aplica a tática de racionalização parcial, isto é, realizada “por etapas” no processo construtivo. O controle dimensional de edificações constitui uma dessas táticas e portanto encontrado em recentes trabalhos e dissertações publicadas. Por outro lado, esta implantação de programas de gestão de qualidade total, com a posterior certificação de controle fundamentadas nas normas ISO 9001/2000, exige novas metodologias de trabalho e o uso das modernas técnicas geodésicas e topográficas no controle dimensional de edificações nas diversas fases do processo produtivo. Apesar do esforço desenvolvido, o uso dessas técnicas ainda não se traduz em realidade na elaboração dos levantamentos geodésicos para projetos e no acompanhamento de obras nos canteiros na Região Metropolitana do Recife (RMR)

2.2 O CONTROLE DIMENSIONAL DE EDIFICAÇÕES

A definição de controle geométrico ou dimensional pode inicialmente parecer simples, mas a abrangência de significado dos termos conduz a uma diversidade de entendimento. Segundo BARROS (2001), apud FERREIRA (1993), controle pode ser entendido como “ato ou poder de controlar, ou a fiscalização exercida sobre as atividades de pessoas, órgãos, departamentos ou sobre produtos, para que tais atividades ou produtos não desviem das normas preestabelecidas”.

O termo geométrico ou dimensional, segundo o mesmo autor, é “relativo ou pertencente à geometria ou próprio dela”. BARROS (2001) estabelece que o conceito de controle como o “conjunto de atividades técnicas e planejadas, através das quais, se pode alcançar uma meta e assegurar um nível predeterminado de qualidade” ou seja, controla-se uma qualidade.

No contexto da construção de edifícios, o controle dimensional está relacionado com a definição da geometria projetada nas edificações prediais, mas deve ir além, podendo ser entendido como o conjunto de atividades que visam assegurar, em um primeiro instante, a locação do edifício no “building site”, a execução dos elementos constituintes do edifício na geometria projetada, e em uma etapa seguinte medir os desvios entre a geometria projetada de cada elemento e a realmente executada (BARROS 2001).

Estes desvios medidos são comparados com as tolerâncias, que segundo PACILÉO (1989) é um valor de erro convencional, cuja probabilidade de ser excedido é muito pequena. No caso de valores acima desta tolerância, estabelece-se a situação de não conformidade.

O efetivo controle dimensional de edificações prediais justifica-se, portanto durante as fases de levantamento, projeto e posicionamento da edificação, ou seja, sua locação de obra conforme determinado em seu projeto executivo e constitui excelente estratégia na busca da racionalização e da qualidade.

Uma forte evidência da necessidade deste controle é a recente elaboração pela ABNT das citadas normas técnicas brasileiras e relacionadas ao assunto, o que apenas evidencia a necessidade de aprofundamento de estudos e pesquisas relativos ao tema.

3. A GEODÉSIA E O CONTROLE DIMENSIONAL

3.1 GEODÉSIA APLICADA

A Geodésia tem sido definida pelos seus objetivos, como a ciência que se ocupa da determinação da forma e das dimensões da Terra, ou de porções da sua superfície sempre considerando a sua curvatura. GEMAEL (1987), nesta definição inclui

também o estudo detalhado do campo de gravidade, cujos resultados propiciam a determinação rigorosa da forma da Terra TORGE (1991).

Conforme ROCHA (2000), o problema geodésico, de natureza física e geométrica, diante desta colocação anterior e em primeira análise, pode ser tratado como o da definição de um sistema de coordenadas, em que fiquem caracterizados os pontos que permitem descrever a superfície física da Terra (ou superfície topográfica).

Evidencia-se, portanto, em trabalhos de engenharia, a importância de estabelecimento de campo de pontos de referência (ou rede), ou seja, um conjunto interligado de pontos, aos quais pode-se associar um campo de pontos objeto definidores das edificações ou das superfícies no terreno.

3.2 CAMPO DE PONTOS OU REDE

De acordo com o projeto ou finalidade de uso na engenharia, um campo de pontos de referência ou rede topográfica e micro redes geodésicas pode ser uni, bi ou tridimensional, sendo este último de fundamental importância para trabalhos de levantamento, posicionamento ou locação de obra com vistas ao controle geométrico em edificações prediais. Conforme a superfície de referência matematicamente adotada, seja o plano topográfico (Euclidiano), ou elipsóide, podemos falar em redes ou campo de pontos topográficos (ou rede topográfica), e campo de pontos geodésicos (ou rede geodésica) quando a curvatura da Terra é considerada. E, portanto quanto a sua abrangência pode-se falar em rede global, regional ou local.

3.2.1 Sistema primário para o controle dimensional nas obras de edifícios

As fases progressivas dos trabalhos de posicionamento de uma edificação, ou seja, sua locação de obra exige a necessidade de utilização de um sistema primário, que é uma rede de pontos primários distribuídos dentro ou ao redor da obra e conectados a um sistema geodésico oficial. Este sistema primário deve, portanto, ser medido, calculado e ajustado e onde quer que seja possível sempre formar uma configuração em anel ou fechada. Os pontos de referência primários adicionais podem ser feitos por intersecção, irradiação polar ou qualquer outro método semelhante. Todos estes pontos constituem, portanto, o sistema primário ou rede de locação da obra. A precisão dos pontos deste sistema primário pode ser afetada pela inexatidão no sistema oficial, faz com que sua conexão a este sistema seja realizada através de um só ponto oficial e uma só direção evitando com isso que injunções de outros pontos prejudique esta rede implantada.

A rede deve ser observada medindo-se ângulos e distâncias em quantidade suficiente, para se ter um número redundante de observações e se ajustar pelo MMQ.

Este sistema deve ser escolhido de forma que observações redundantes sejam possíveis e que os pontos medidos desta rede primária, possam sempre ser referidos durante a construção. O campo de pontos primários deve ainda ser devidamente escolhido de modo a garantir estabilidade durante a fase de realização das observações e em caso contrário ser amarrado a sistema estável superior. A rede deve ser implantada segundo as normas técnicas vigentes, com critérios de aceitação para o posicionamento de pontos primários bem como previsto as conseqüências ao desacordo com a tolerância adotada.

Outra questão importante diz respeito à integração entre tecnologias de posicionamento polar topográfico e global, utilizadas em trabalhos de redes ou sistemas (primários, secundários e posição) para fins de engenharia. Ao se utilizar destas tecnologias muitas vezes desconhece-se a origem dos sistemas geodésicos adotados, como afirma MAIA (1999): os pontos obtidos por estação total e GPS estão servindo de apoio para poligonais topográficas, vinculando desta forma, levantamentos topográficos via Estação Total com posicionamento GPS. Este fato deve ser considerado pois são métodos distintos envolvidos. O levantamento topográfico tradicional usa um sistema de referência local e tem sido adotado nos cálculos envolvidos numa poligonal topográfica. Este sistema entretanto, não se aplica aos levantamentos com o GPS, pois o mesmo está relacionado a uma superfície elipsoidal que se aproxima da forma real da terra.

Muito tem sido discutido, sobre o assunto relacionado à otimização dessa integração entre levantamento polar topográfico e global e considerando critérios de qualidade visando à configuração geométrica desse campo. Entretanto estes precisam se traduzir em procedimentos usuais na engenharia civil em edificações, constituindo-se em arcabouço, que permita além do controle dimensional da obra, um correto posicionamento da edificação conectado ao sistema geodésico oficial ou primário.

Neste trabalho é proposto a integração do posicionamento global e polar em rede ou campo de pontos primário ajustando-o em configuração fechada .

3.2.2 Sistema primário –situação atual nas obras

Segundo BARROS (2001) nos compêndios nacionais que tratam da disciplina Topografia como LOCH (1995), DOMINGUES (1979) nem em textos que se referem à construção propriamente dita, como FRANCO (1992) a inserção do tema das ciências geodésicas aplicadas ao controle dimensional não é claramente definida.

Isto pode ser atribuído em um primeiro instante à dispersão, dentro dos conteúdos da topografia, dos conceitos e métodos empregados no CGE e também da pequena importância que é dada aos trabalhos envolvidos no controle geodésico ou topográfico, dentro do processo de levantamento ou locação para produção do edifício. No entanto conforme afirma PAHOR (1999) autores estrangeiros-B Gerjula

(1963), na obra Geodésia na Construção Industrial utilizavam um livro, que servia de referência para construção de obras e que nesta época estava com sua publicação esgotada. CINTRA(1983) insere a locação de obras como um tipo de trabalho que “em pequenas obras utiliza-se método mais simples e seguros que consistem em materializar eixos, constituídos por armações de madeira, onde se demarcam todos elementos necessários ao posicionamento dos blocos, pilares etc. e em obras de maior vulto requer o uso de instrumentos topográficos que permitem o posicionamento através de ângulos e distâncias”.

É nesta preocupação com a implantação efetiva dos projetos, estabelecida por CINTRA (1983), que se insere o CGE, não como uma parte em separado, com fundamentos teóricos próprios, mas visto como uma aplicação das metodologias e instrumentos da topografia e geodésia visando a obtenção de uma planta do terreno que permita a elaboração do projeto do edifício, a inserção do edifício projetado neste terreno, a execução do edifício dentro da geometria projetada e a medição dos desvios entre a geometria projetada e aquela efetivamente executada, ou seja, como “base geométrica comum” visando a compatibilização de todos os projetos de execução de obras em edifícios e seu georreferenciamento relativo ao cadastro de coordenadas do Cadastro Imobiliário onde devem ser calculados e registrados todos os pontos limites dos terrenos, e os demais pontos topográficos do campo de pontos objeto em um único sistema oficial. Constituindo conforme CARNEIRO (2000) componente da parte cartográfica do CTM (Cadastro Técnico Municipal) atualmente encontrado nas prefeituras.

3.3 NORMAS BRASILEIRAS - REFERÊNCIA CADASTRAL MUNICIPAL

As normas brasileiras relacionadas às redes de referências cadastrais, vinculadas às redes oficiais estabelecem o sistema de amarração de levantamentos a um **sistema único** de coordenadas. Ao fixar as condições exigíveis para a sua implantação em áreas urbanas e rurais do município permitem coordenadas em sistemas que vão desde o Sistema Topográfico Local até o Sistema de Projeção UTM, RTM e LTM.

Entretanto sobre esta rede prevista na NBR 14166/1998 e ao comentar o escalonamento hierárquico dos elementos da rede de referência cadastral proposta nestas normas da ABNT, vale ressaltar as considerações de HASENACK (2000) que o considera de interpretação confusa, sobretudo aquele constante do item 5.13 desta norma o qual afirma ser de “difícil entendimento”.O autor considera ainda como alternativa a proposta de ROMÃO et ali-(1996), onde se propõe um escalonamento hierárquico simplificado indo desde as Redes Nacionais, Estaduais e Municipais até uma Rede de levantamentos e pontos limite de propriedades e que se parece mais adequado à metodologia proposta neste trabalho.

Por outro lado e mais recentemente a NBR 14645-1/2000 incluiu este tema no item 6 (seis)-Requisitos específicos que os levantamentos topográficos que “ ficam

condicionados às eventuais exigências de alguns municípios quanto à amarração planimétrica ou planialtimétrica dos serviços a redes oficiais, nesses casos ,devendo ser consideradas as especificações próprias do município em questão para os transportes de coordenadas e de referência de nível”.

4. ESTABELECIMENTO DO SISTEMA PRIMÁRIO NA OBRA

4.1 PRECISÃO POSICIONAL NOS LIMITES DE PROPRIEDADES URBANAS

Considerando a realidade brasileira do posicionamento de edificações e as necessidades cadastrais de levantamentos e amarração geodésica de parcelas urbanas urge discutir ,estudar e definir as tolerâncias máximas para pontos limites de propriedades nos levantamentos de parcelas urbanas e rurais. A Lei 10267/2001 que modificou artigos da Lei 6015/1973- Lei de Registros Públicos ao estabelecer a definição de uma precisão posicional para os limites de propriedades rurais, sinaliza a disposição de se iniciar a discussão para estes limites, também na propriedade urbana. No Brasil, pouco se discute sobre a precisão posicional no que se refere a estes pontos para um cadastro urbano, sobretudo durante o trabalho de posicionamento de edificações.

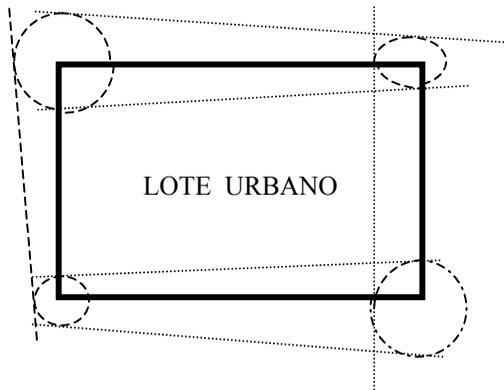
Ainda sobre o este assunto ROCHA (2000) afirma que os valores de precisão das redes hierárquica propostas devem ser compatíveis com a tolerância “referencia de +/- 10cm” para estes pontos limites. Ou seja, a análise de incerteza utilizando a Lei de Propagação de Erros (por variância) no planejamento de levantamentos deve se tornar ferramenta usual para verificar se a propagação de erros nos levantamentos urbanos é adequada aos levantamentos dos pontos limites de propriedade. E segundo PARMA (2002) ser “ferramenta para a tomada de decisões no nível da definição de métodos, equipamentos e resultados esperados nas variadas atividades da engenharia que tem de trabalhar com medições”.

4.2 DIAGNOSE DO PROBLEMA

A definição planimétrica, dos limites da parcela urbana e demais pontos do campo objeto está vinculada a descrição das coordenadas de seus vértices, que por sua vez podem ser determinadas por uma diversidade de métodos de posicionamento. Os erros de medição cometidos, garantem uma condição de inexatidão a posição de seus vértices, os quais poderão estar ou não no interior do elipse de erro especificado para o ponto observado (fig.01). Os métodos de posicionamento tem sido usados em redes cadastrais integrando levantamento por GPS com a topografia, sem que se estude um conjunto de procedimentos a serem seguidos para ajustamento das observações geodésicas realizadas. Nestes diferentes

tipos de posicionamento usados deve-se também fazer uso e aplicação da Lei de Propagação dos Erros, antes das medições serem efetivamente efetuadas.

FIGURA 01 – ELIPSES DE ERRO DA ÁREA DE ESTUDO



4.2 O AJUSTAMENTO DAS OBSERVAÇÕES-SISTEMA PRIMÁRIO

Face ao exposto no item anterior e ao considerar a necessidade de verificar a propagação de erros e ajustamento pelo MMQ no estabelecimento da rede primária e campo de pontos objeto a metodologia será desenvolvida nas etapas a seguir:

- ✓ Posicionamento GPS para obter as coordenadas dos marcos A e B (amarrados com monografia) e relacionadas a ponto da rede IBGE RBMC;
- ✓ Cálculo e ajuste pelo MMQ da rede GPS com estes três pontos posicionados ;
- ✓ Posicionamento polar a partir de A e B formando rede primária implantada no terreno em poligonal anel ou fechada (pontos A,B, 1 e 2) ;
- ✓ Análise preliminar da propagação de erros em medições para levantamentos adicionais (irradiação, intersecção etc) visando obtenção das coordenadas dos pontos do campo objeto e limites do terreno.

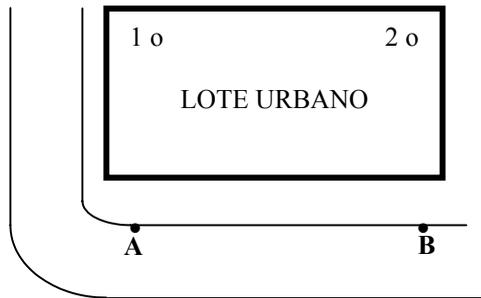
Durante o levantamento polar devem ser observados os ângulos internos da poligonal AB12 e as distâncias entre cada estação, com percurso no sentido anti-horário. A caderneta de campo com os dados das observações deve permitir anotações em série para as medidas dos ângulos e distâncias. Com os valores das coordenadas ajustadas nas duas estações (A e B) da rede GPS, devidamente

materializadas por pinos metálicos, a rede formada por estes dois pontos e mais os pontos internos implantados no terreno (1 e 2) pode ser ajustada pelo MMQ.

Sendo observado distâncias e ângulos, o modelo matemático adotado para o ajustamento foi o modelo paramétrico, onde esses dois tipos de observações são colocados em função dos parâmetros a determinar (coordenadas E e N dos pontos não ajustados 1 e 2). O modelo utilizado para o ajustamento das coordenadas dos vértices da poligonal consiste em partir de uma estação de coordenadas conhecidas (A) e realizar o transporte de coordenadas através das duas estações não ajustadas (1 e 2), retornando a outra estação de coordenadas conhecidas (B), utilizando-se os ângulos internos da poligonal e as distâncias entre as estações.

Nesse processo, as observações ajustadas foram as três distâncias correspondentes às linhas de base A-1, 1-2 e 2-B e os três ângulos internos a_4 , a_1 e a_2 , conforme figura 02.

FIGURA 02 – CROQUIS DA ÁREA DE ESTUDO(MARCOS)



A resolução matemática do Modelo Paramétrico, em todas as suas etapas (Linearização, Método dos Mínimos Quadrados, Equações Normais, Valores Ajustados, Variância da Unidade de Peso “a posteriori” e Matriz Variância-Covariânica dos parâmetros ajustados), foi totalmente implementada em MATLAB. O programa utilizado para o ajustamento, denominado *AJUSTA.m*.

4.3 PROPAGAÇÃO DOS ERROS - IRRADIAÇÃO DOS LIMITES

4.3.1 Análise da propagação de erros no campo de pontos objeto (limites urbanos)

A propagação de erros no levantamento polar a partir dos pontos da rede anel ajustada é definida a partir de um modelo matemático que relacione as variáveis relacionadas a saber: as coordenadas da estação E (E°, N°), a distância do terreno di ou a horizontal dh , o ângulo azimutal α e o vertical β . O modelo matemático então:

$$E = E^\circ + dh \cos \beta \sin \alpha = E^\circ + dh \sin \alpha \quad (01)$$

$$N=N^{\circ}+d\cos\beta\sin\alpha=N^{\circ}+d\hbar\sin\alpha \quad (02)$$

O que conforme PARMA(2002) se considerarmos no modelo σ_p = desvio padrão do ponto levantado($\sigma_p^2=\sigma_x^2+\sigma_y^2$), σ_e =desvio padrão do ponto estação(rede), σ_d =desvio padrão da medida linear e σ_a =desvio padrão das medidas angulares(desvio angular horizontal igual ao vertical) e as devidas simplificações, ao se aplicar a expressão da propagação de erros tem-se que:

$$\sigma_p^2=2\sigma_e^2+\sigma_d^2\cos^2\beta +\sigma_a^2d^2 \quad (03)$$

onde se observa que o valor de α (ângulo azimutal) não participa da expressão.

4.3.1 Estudo de caso e análise da propagação de erros a distâncias curtas(até 500m)

Como estudo de caso consideramos o imóvel urbanizado até 25000m² prescrito na norma NBR-14645-1:2000, onde este grupo de distâncias curtas (até 500m) define o caso de posicionamento para a maioria dos tipos de pontos levantados para o campo objeto e limites da parcela urbana. Aplicando na expressão (03) os valores adotados na tabela 1 obteve-se para σ_p = 0,07m, portanto adequado a precisão posicional em pontos de limite em terreno urbano.

TABELA 01 – DESVIOS PADRÕES ADOTADOS

OBSERVAÇÕES (d=500m)		
Desvios padrões	medições	σ_p = desvio padrão
coordenadas	0,05m	0,07m
distâncias	0,01m	
Medidas angulares	5''	

4. CONCLUSÃO

Considerando a realidade da Região Metropolitana do Recife onde desde meados da década 70 as necessidades de levantamento são supridas por rede de referência do PROJETO UNIBASE-FIDEM PE . E o crescimento urbano exigir a necessidade de que todos os setores envolvidos(empresas, poder público e universidades) desenvolvam esforços para “densificar” a rede de referência cadastral municipal. Este trabalho ao estudar e estabelecer a controle dimensional de edificações, associado com a implantação de rede de pontos ou sistema primário constitui oportunidade para atualizar na RMR plantas topográficas cadastrais municipais , dotando-o com referencial geodésico único e precisão posicional compatível para a definição dos limites em lotes urbanos.

5. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13133**: execução de levantamento topográfico. Rio de Janeiro, 1994.35p

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14166**: rede de referência cadastral: procedimento . Rio de Janeiro, 1998.35p

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14645**: elaboração do “como construído” (as built) para edificações. Parte 1: Levantamento planialtimétrico e cadastral de imóvel urbanizado com área até 25000m², para fins de estudos, projetos e edificação- Procedimento. Rio de Janeiro, 2000.9p.

BARROS, E. O. **Controle geométrico da estrutura de concreto de edifícios como ferramenta da racionalização construtiva**. São Paulo, 2001. 136p. Dissertação (mestrado)-Escola Politécnica – USP.

CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. **Importância do setor de construção civil na economia brasileira**. Belo Horizonte, 2000.

Disponível em:

< <http://www.cbic.org.br>> Acesso em: 15 de outubro de 2002.

CARNEIRO, A.F.T. **Uma proposta de reforma cadastral visando a vinculação entre cadastro e registro de imóveis**. Florianópolis,SC, 2000. 175p. Tese (Doutorado) - Engenharia de Produção – UFSC.

CINTRA, J.P. **Automação da topografia**: do campo ao projeto. São Paulo, 1993, Tese (Livre docência), Escola Politécnica – USP.

DOMINGUES, F. A. A. **Topografia e astronomia de posição**. São Paulo: McGraw Hill do Brasil, 1979.

FRANCO, L.S. **Aplicação de diretrizes de racionalização construtiva para a evolução tecnológica dos processos construtivos em alvenaria estrutural não armada**. São Paulo, 1992. Tese (doutorado), Escola Politécnica – USP.

GEMAEL, C. **Introdução ao ajustamento das observações**: aplicações geodésicas. Curitiba: UFPR, 1994.

HASENACK, Markus. **Originais do levantamento topográfico cadastral**: possibilidade de sua utilização para a garantia dos limites geométricos dos bens

imóveis. Florianópolis, 2000. Dissertação – Departamento de Engenharia de Produção. Universidade Federal de Santa Catarina.

LOCH, Carlos; **Topografia contemporânea**. Florianópolis: UFSC, 1995.

MAIA, T.C. **Estudo e análise de poligonais segundo a NR 13.133 e o sistema posicionamento global**. São Paulo, 1999. 177p. Dissertação (mestrado)- Escola Engenharia de São Carlos – USP.

PACILÉO, N. **Aplicação da teoria dos erros na topografia**. São Paulo: EPUSP, 1993.

PAHOR J. S. *As built* (como construído)- sua importância no acompanhamento de obras. In: CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA DE AGRIMENSURA, 7., 1996, Salvador. Anais...

PARMA, G. C. de. Propagação dos erros nos levantamentos cadastrais In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO, 2002, Florianópolis. 642 p.p. 45-66.

ROCHA, R. S. *Referencial geodésico no cadastro urbano*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, 1999, Recife. Anais... Recife.

ROMÃO, V.M.C. *Rede de referência cadastral municipal. uma proposta do grupo de trabalho sobre cadastro municipal (GTCM) do DECART - UFPE*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO, 2., 1996, Florianópolis. **Anais...**

TORGE, W. **Geodesy**. 2. ed. New York: De Gruyter, 1991. 264p.

6. AGRADECIMENTOS

A coordenação, professores e mestrandos do Mestrado em Ciências Geodésicas e Tecnologia da Geoinformação da Universidade Federal de Pernambuco, e aos amigos e companheiros da UFRPE e UNICAP por tornarem possível este artigo.

A VARIAÇÃO DA VELOCIDADE DE ROTAÇÃO DA TERRA

Alteni Fidelis Pimenta¹
Luiz Danilo Damasceno Ferreira²
Germano Bruno Afonso³

1 Universidade Federal do Paraná - apimenta@geoc.ufpr.br

2 Universidade Federal do Paraná - danilo@geoc.ufpr.br

3 Universidade Federal do Paraná - afonso@fisica.ufpr.br

RESUMO

Apresenta-se um estudo acerca do fenômeno da desaceleração da Terra e conseqüente expansão da órbita lunar, com o objetivo de incrementar a investigação da dinâmica do sistema Terra-Lua. É feito um resumo histórico dos estudos realizados sobre o assunto, uma breve explanação dos fatores que produzem alterações na rotação do planeta, com ênfase às forças geradoras de maré, por constituírem a maior fonte causadora dessas variações. Assume-se um modelo simples no qual a superfície da Terra é completamente recoberta de água, sendo para isto definido um sistema de referência inercial e, na seqüência é considerado o efeito da rotação da Terra. Discute-se também como os pesquisadores obtêm a velocidade de rotação da Terra no passado e no presente.

Palavras-chave: Velocidade de rotação; Afastamento da Lua; Marés

ABSTRACT

A study about the decrease in the Earth's rotation velocity and the consequent Moon's retreat is reported here, aiming to improve the investigation of the Earth-Moon system. A historical review on the studies performed on this issue is made and the factors producing the Earth's rotation changes are briefly discussed, in particular the tide-generating forces once they are the most important sources of these variations. A simple model is assumed in which the Earth's surface is completely covered with water and for such purpose an inertial frame is defined, then the effect of the Earth's rotation is considered. It is discussed how the researchers determine the Earth's rotation velocity both in the present and in the past.

Keywords: Earth's rotation velocity; Tides; Moon's retreat

1. INTRODUÇÃO

É fato incontestável que a velocidade de rotação da Terra está vagarosamente diminuindo desde que ela surgiu, causando um aumento na duração do dia. O princípio da conservação do momento angular requer uma compensação para a perda de momento angular de rotação da Terra através de um ganho de momento angular orbital da Lua. Desse modo, sua velocidade angular e distância em relação à Terra alteram-se em vista de uma desaceleração do planeta. Fatores como a influência da atmosfera, a não constância do momento de inércia da Terra e o irregular acoplamento entre o núcleo condutor elétrico e o manto terrestre semi-condutor, também alteram a velocidade do planeta. No entanto, seus efeitos são insignificantes, para variações seculares, quando comparados com os do atrito produzido pelas marés (AFONSO, 1977).

A investigação das forças geradoras de maré é um assunto complexo já que existem diversos fatores que trazem complicações aos cálculos, como o fato da Terra não ser um sistema inercial. A explicação aqui apresentada leva em conta apenas a ação da Lua sobre as águas dos oceanos, assumindo primeiramente um modelo simples no qual a Terra é completamente recoberta de água, considerando após o efeito da rotação do planeta.

Devido ao afastamento da Lua, as forças geradoras de maré irão gradativamente diminuindo até um ponto de equilíbrio, quando o dia terrestre terá a duração do mês lunar.

2. RETROSPECTIVA HISTÓRICA

HALLEY em 1695, tentou explicar o fenômeno do decréscimo na velocidade de rotação da Terra relacionando-o às perturbações gravitacionais de outros planetas. NEWTON, em 1713, sugeriu que a aparente aceleração da Lua poderia ser devida à variação na rotação do planeta. Em 1754, o filósofo KANT, baseado em teoria pura, apontou as marés como a causa dessas variações. Foi apresentada por LAPLACE, em 1787, uma explicação em termos da ação do Sol na órbita lunar, a qual foi contestada mais tarde por não concordar inteiramente com as observações. MAYER, em 1848, foi o primeiro a unir as idéias de uma ação mútua entre Terra e Lua, através da introdução da idéia do momento angular transferido no sistema Terra-Lua. Parte desta teoria sustenta que o torque resultante da atração da Lua na protuberância equatorial da Terra transfere energia e momento angular da rotação do planeta para o movimento orbital do satélite, resultando num decréscimo da rotação da Terra e no afastamento da Lua. WELLS (1963), desenvolveu em seu trabalho uma metodologia para estimar o número de dias/ano no passado geológico, baseado

em análises do crescimento de corais fósseis e recentes. MIGNARD (1979), por sua vez, concluiu que o atraso de resposta de maré deve ter sido menor no passado distante de milhões de anos, no que ele estava certo. Porém, seu modelo implica em uma catastrófica aproximação da Lua por volta de 2000 Ma (SANT'ANA e AFONSO, 1998). Não existem evidências de que tal evento cataclísmico tenha ocorrido, surgindo dúvidas sobre a confiabilidade de muitos dados paleontológicos baseados em fósseis.

Analisando observações de eclipses ocorridas desde 2500 anos atrás, STEPHENSON e MORRISON (1995) também estudaram este assunto. AFONSO (1977) estabeleceu um modelo para a evolução dinâmica do sistema Terra-Lua considerando apenas a dinâmica do raio de uma órbita circular da Lua. Mais tarde, foi apresentada uma expressão para o atraso de resposta das marés da Terra que leva em consideração as observações paleontológicas de Wells (SANT'ANNA e AFONSO, 1998). Esse modelo semi-empírico considera que a dissipação de energia e o atraso de resposta da maré não são constantes no tempo, e é compatível com as atuais teorias segundo as quais a Lua surgiu há cerca de 4,5 bilhões de anos.

3. FATORES RESPONSÁVEIS PELAS VARIAÇÕES NA ROTAÇÃO DA TERRA

A vida do ser humano sempre foi baseada nos ciclos dia-noite e, devido à desaceleração gradual da velocidade de rotação da Terra de tempos em tempos faz-se necessário um ajuste nos relógios atômicos para sincronizá-los com a rotação decrescente do planeta. Diversos são os fatores que contribuem para essa variação, os quais são extensamente discutidos por LAMBECK (1980).

3.1 ATMOSFERA

Numa escala de tempo sazonal a atmosfera é a principal fonte de excitação das alterações na rotação da Terra, incluindo variações no comprimento do dia e no movimento polar (YU e ZHENG, 2000). Os efeitos atmosféricos na rotação da Terra são geralmente investigados usando o formalismo do momento angular atmosférico (AAM-*Atmospheric Angular Moment*). Devido ao princípio de conservação do momento angular, para qualquer mudança no AAM há uma correspondente variação, com sinal oposto, no momento angular da Terra sólida e, conseqüentemente, uma perturbação em seu vetor de rotação. O desenvolvimento da tecnologia no que diz respeito ao estudo da contribuição da atmosfera para a variação do LOD (*Length of Day*) tem sido tão importante que a história desta questão pode ser dividida em antes e depois de 1980, com o advento de novas técnicas espaciais de observação como o VLBI (*Very Long Baseline Interferometry*),

SLR (*Satellite Laser Ranging*) e LLR (*Lunar Laser Ranging*) e com o início dos programas de monitoramento de ventos globais.

3.2 ACOPLAMENTO ELETROMAGNÉTICO ENTRE MANTO E NÚCLEO

LAMBECK (1980) afirma que o acoplamento eletromagnético entre o manto e o núcleo parece ser a mais plausível explicação para variações em décadas no LOD, e concluiu que tais mudanças provavelmente são uma consequência de variações no momento angular do núcleo.

3.3 TERREMOTOS

A questão da influência dos terremotos, ainda hoje bastante discutida, reside no fato de que a ocorrência de terremotos, provocando uma redistribuição de massa na Terra modifica o seu tensor de inércia. O tensor momento de inércia \mathbf{I} é a grandeza que mede a distribuição de massa de um corpo em relação a um sistema de eixos. Considerando que o momento angular \vec{L} de um corpo se mantém constante desde que não aja nenhum torque sobre ele, qualquer modificação no modo como a massa do corpo está distribuída altera seu momento de inércia e, pela relação $\vec{L} = \mathbf{I}\vec{\omega}$, a velocidade angular de rotação $\vec{\omega}$ também deve se alterar.

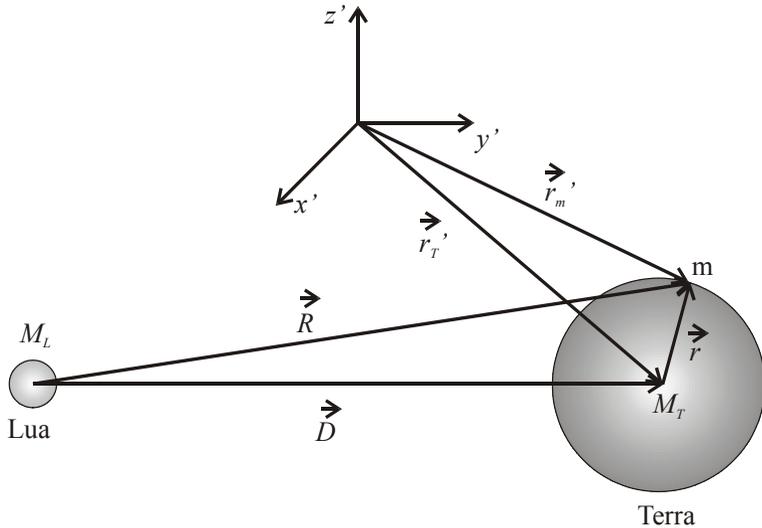
3.4 TROCA DE MASSA ENTRE OS OCEANOS E AS GELEIRAS

Outra fonte de variação no tensor de inércia da Terra e, conseqüentemente, em sua rotação, consiste na troca de massa entre os oceanos e as geleiras, MUNK e MACDONALD (1960), CAZENAVE (1975) e LAMBECK e CAZENAVE (1977) dedicaram-se ao estudo desta questão.

3.5 MARÉS

A palavra maré é um termo genericamente usado para definir a variação do nível do mar em relação à terra produzida pela atração gravitacional da Lua e do Sol. A força gravitacional da Lua exercida em qualquer corpo na superfície da Terra é muito menor que a do Sol. Porém, como a Terra está muito mais perto da Lua as forças lunares geradoras de maré têm um efeito muito mais significativo sobre os oceanos, com importantes conseqüências de longo termo para a órbita lunar e rotação da Terra. A fim de explicar tal efeito é definido um sistema de referência inercial $x'y'z'$ conforme figura 1. M_L e M_T são, respectivamente, as massas da Lua e da Terra, r o raio de uma Terra esférica e D a distância entre os centros de massa da Lua e da Terra. Uma massa m será localizada na superfície da Terra e os efeitos gravitacionais da Lua e a da Terra sobre ela serão analisados.

FIGURA 1 – TERRA, LUA, SISTEMA INERCIAL E VETORES POSIÇÃO CORRESPONDENTES



O vetor posição da massa m em relação à Lua é \vec{R} , em relação ao centro da Terra é \vec{r} e para o sistema inercial definido \vec{r}'_m . O vetor posição do centro de massa da Terra no sistema inercial é \vec{r}'_r . Tomando o sistema inercial como referência, a força em m devida à Terra e à Lua é

$$m\ddot{\vec{r}}'_m = -\frac{GmM_T}{r^2}\hat{r} - \frac{GmM_L}{R^2}\hat{R} \quad (1)$$

De modo semelhante, a força no centro de massa da Terra causada pela Lua vale

$$M_T\ddot{\vec{r}}'_r = -\frac{GM_T M_L}{D^2}\hat{D} \quad (2)$$

A aceleração $\ddot{\vec{r}}$ medida no sistema não inercial situado no centro da Terra, pela figura 1 é

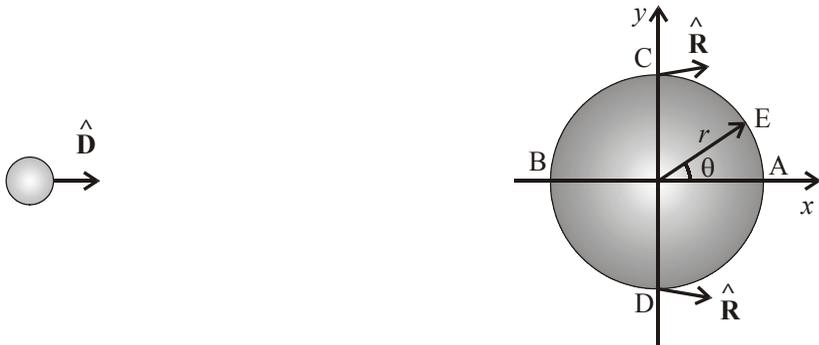
$$\ddot{\mathbf{r}}'_m = \ddot{\mathbf{r}} + \ddot{\mathbf{r}}'_T \quad \ddot{\mathbf{r}} = \ddot{\mathbf{r}}_m - \ddot{\mathbf{r}}'_T \quad (3)$$

Substituindo as equações 1 e 2 na expressão acima, vem

$$\ddot{\mathbf{r}} = -\frac{GM_T}{r^2} \hat{\mathbf{r}} - GM_L \left[\frac{\hat{\mathbf{R}}}{R^2} - \frac{\hat{\mathbf{D}}}{D^2} \right] \quad (4)$$

O primeiro termo do segundo membro da equação 4 é a aceleração devida à Terra e o segundo é a aceleração devida à força de maré. A força de maré resulta da diferença entre a atração gravitacional da Lua no centro da Terra e na sua superfície. As forças de maré em vários pontos da Terra são representadas na figura 2.

FIGURA 2 - VISÃO DA TERRA COM O EIXO POLAR AO LONGO DO EIXO Z



Nesta figura é dada uma visão da Terra com o eixo polar ao longo do eixo z. A força maregráfica $\bar{\mathbf{F}}_T$ na massa m localizada na superfície da Terra é

$$\bar{\mathbf{F}}_T = -GmM_L \left[\frac{\hat{\mathbf{R}}}{R^2} - \frac{\hat{\mathbf{D}}}{D^2} \right] \quad (5)$$

Fixando a atenção no ponto A, que é o ponto mais afastado da Lua, vê-se que ambos os vetores $\hat{\mathbf{R}}$ e $\hat{\mathbf{D}}$ estão apontados no mesmo sentido para longe da Lua ao longo do eixo x . Como $R > D$, o segundo termo da equação acima é predominante, e a força maregráfica está ao longo do eixo x . Para o ponto B, $R < D$ e a força tem o mesmo

valor que no ponto A, pois $r/D \ll 1$, e está no sentido contrário ao do eixo x . O valor da força ao longo do eixo x vale

$$\mathbf{F}_{T_x} = -\mathbf{GmM}_L \left[\frac{1}{R^2} - \frac{1}{D^2} \right] \quad (6)$$

ou, como $R = D + r$,

$$\mathbf{F}_{T_x} = -\frac{\mathbf{GmM}_L}{D^2} \left[\left(1 + \frac{r}{D} \right)^{-2} - 1 \right] \quad (7)$$

Expandindo o termo entre parênteses, tem-se

$$\mathbf{F}_{T_x} = -\frac{\mathbf{GmM}_L}{D^2} \left[1 - 2\frac{r}{D} + 3\left(\frac{r}{D}\right)^2 + \dots - 1 \right] \quad (8)$$

e mantendo apenas o primeiro termo, pois r/D é da ordem de 10^{-2} , resulta em

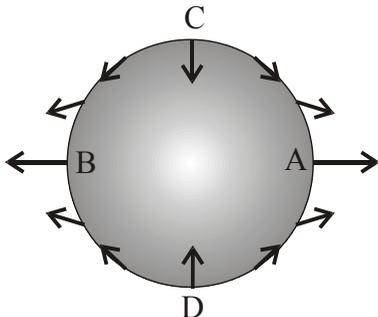
$$\mathbf{F}_{T_x} = \frac{2\mathbf{GmM}_L r}{D^3} \quad (9)$$

Para o ponto C, o versor $\hat{\mathbf{R}}$ não está exatamente ao longo de $\hat{\mathbf{D}}$, mas a componente no eixo x é praticamente cancelada, pois $R \cong D$. Haverá uma pequena componente de $\hat{\mathbf{R}}$ ao longo do eixo y , a qual pode ser aproximada por $(r/D)\hat{\mathbf{j}}$. O valor de \mathbf{F}_{T_y} , dado pela expressão 5 fica, então,

$$\mathbf{F}_{T_y} = -\mathbf{GmM}_L \left(\frac{1}{D^2} \frac{r}{D} \right) = -\frac{\mathbf{GmM}_L r}{D^3} \quad (10)$$

Nota-se que esta força é orientada em sentido contrário ao do eixo y , passando pelo centro da Terra, ao passo que, no ponto D, a força terá a mesma magnitude, porém seu sentido será o mesmo do eixo y . As forças de maré nos pontos A, B, C e D estão representadas na figura 3, a seguir.

FIGURA 3 - FORÇA DE MARÉ NOS PONTOS A, B, C E D.



Pode-se, ainda, representar as forças num ponto arbitrário E da seguinte maneira

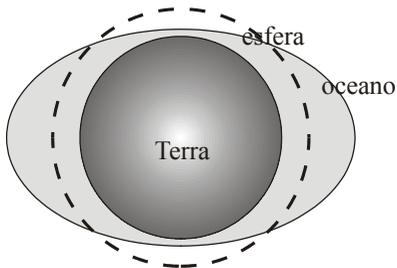
$$F_{T_x} = \frac{2GmM_L x}{D^3} \quad F_{T_y} = -\frac{GmM_L y}{D^3} \quad (11)$$

Considerando, conforme figura 3, que $x = r \cos \theta$ e $y = r \sin \theta$, temos

$$F_{T_x} = \frac{2GmM_L r \cos \theta}{D^3} \quad F_{T_y} = -\frac{GmM_L r \sin \theta}{D^3} \quad (12)$$

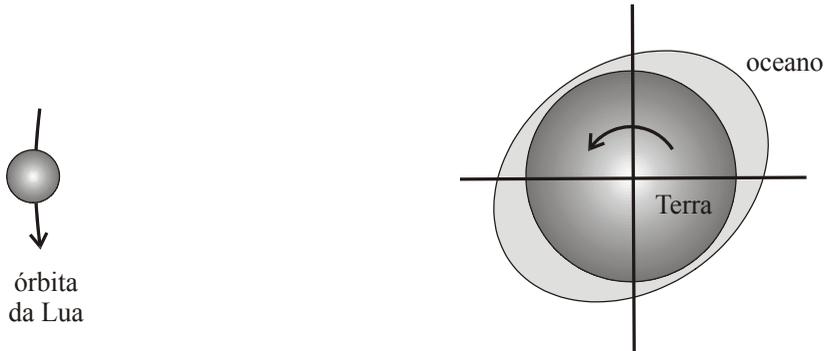
As equações acima fornecem as forças de maré na superfície da Terra como função de θ . A figura 4 apresenta um panorama, se bem que exagerado, dos efeitos dessas forças.

FIGURA 4 – EFEITO DA FORÇA DE MARÉ



Num sistema estático como discutido anteriormente, os pontos de maior protuberância estão ao longo do eixo Terra-Lua. Porém, o sistema real não é estático. Como os oceanos estão gravitacionalmente fixados à Terra espera-se, numa primeira análise, que estes acompanhem seu movimento de rotação. Mas, ao mesmo tempo os oceanos são atraídos pela força gravitacional da Lua, resultando no panorama mostrado na figura 5 (MARION e THORNTON, 1995).

FIGURA 5 - EFEITO REAL DAS FORÇAS DE MARÉ



Devido à sua fluidez os oceanos não estão completamente fixados ao planeta havendo uma interface entre o fundo das águas e a Terra; esta tentando mover-se num sentido enquanto o oceano é mantido em outro. Surge nesta interface uma força de atrito como em qualquer fenômeno de fricção entre dois corpos. Uma parcela da energia cinética do planeta vai vagarosamente transformando-se em energia térmica. Sendo ω_T a velocidade angular de rotação da Terra e I_T seu momento de inércia, sua energia cinética rotacional é dada por

$$K = \frac{I_T \omega_T^2}{2} \quad (13)$$

e portanto, uma redução nesta energia faz com que a Terra sofra um decréscimo em sua velocidade angular e, conseqüentemente, em seu momento angular \vec{L} , já que

$$\vec{L} = I_T \vec{\omega}_T \quad (14)$$

O sistema Terra-Lua pode ser considerado um sistema isolado devido à sua grande distância em relação a outros corpos celestes obedecendo, portanto, ao princípio da conservação do momento angular. Desse modo, à diminuição do momento angular terrestre corresponde um aumento do momento angular da Lua.

Sendo F o módulo da força gravitacional entre a Terra e a Lua e G a constante de gravitação universal, de acordo com a lei de gravitação de Newton tem-se

$$F = G \frac{M_T M_L}{D^2} \quad (15)$$

e, portanto, a força diminui com $1/D^2$. Por outro lado, sendo v_L a velocidade orbital da Lua, a força centrípeta que mantém a Lua em órbita vale, em módulo, considerando uma órbita circular para a Lua,

$$F = \frac{M_L v_L^2}{D} \quad (16)$$

Isolando v_L na equação acima tem-se

$$v_L = \sqrt{\frac{FD}{M_L}} \quad (17)$$

Substituindo nela a equação 17 fica-se com

$$v_L = \sqrt{\frac{GM_T}{D}} \quad (18)$$

e vê-se que a velocidade cai com $1/D^{1/2}$. O momento angular da Lua é dado por

$$\vec{L} = M_L [\vec{D} \times \vec{v}_L] \quad (19)$$

ou, em módulo,

$$L = M_L D v_L \quad (20)$$

Substituindo o valor de v_L , tem-se

$$L = M_L D \sqrt{\frac{GM_T}{D}} \quad (21)$$

ou, sendo

$$C = M_L^2 (GM_T)^{-1} \quad (22)$$

fica-se com

$$D = CL^2 \quad (23)$$

Como a Lua recebe uma quantidade adicional de momento angular, de acordo com a equação acima tem-se um acréscimo no valor de D .

Da exposição feita pode-se concluir que haverá então uma diminuição da velocidade da Lua em relação às estrelas fixas, enquanto ela sofre uma aparente aceleração em relação à Terra, já que esta diminui sua velocidade em virtude do atrito provocado pelas marés, havendo também um vagaroso, mas constante, afastamento da Lua em relação à Terra.

4. MEDIÇÃO DA VELOCIDADE DE ROTAÇÃO DA TERRA

Conhecer a velocidade de rotação da Terra em qualquer tempo, seja no presente ou no passado, requer a combinação de esforços calcados na teoria e na observação. Em seu artigo, WELLS (1963) defende a idéia de que o exame de fósseis possibilita a determinação de ciclos vitais de corais que viveram há milhões de anos. Uma vez que estes ciclos vitais são regulados por períodos astronômicos como o ano tropical, o mês sinódico e o dia solar, torna-se possível determinar a duração destes intervalos de tempo na época em que estes corais viveram. No entanto, segundo os estudiosos do assunto, existem muitas dúvidas acerca da confiabilidade de dados paleontológicos.

Uma nova metodologia para as análises paleontológicas da rotação da Terra e órbita da Lua baseada em ritmitas cíclicas de origem maregráfica foi introduzida na década de 80 por WILLIAMS (2000). Os ritmitas cíclicos são contituídos por finas camadas ou lâminas de arenitos finamente granulados que apresentam variações periódicas na espessura, refletindo uma forte influência da maré na sedimentação, o que permite a obtenção de informações sobre a paleorotação da Terra e da órbita lunar na era pré-cambriana.

STEPHENSON e MORRISON (1988, 1989, 1995, 1997), mostraram que o LOD está sofrendo um gradativo aumento a partir da análise de observações de eclipses datadas desde 2700 anos atrás.

4.1 MEDIÇÃO DA VELOCIDADE DE ROTAÇÃO DA TERRA NO PRESENTE

O IERS (*International Earth Rotation Service*) é atualmente o órgão responsável pelo fornecimento dos parâmetros de rotação da Terra. É um membro da FAGS (*Federation of Astronomical and Geophysical data analysis Services*) e foi estabelecido em 1987 pela IAU (*International Astronomical Union*) e IUGG (*International Union of Geodesy and Geophysics*), começando a operar em 1988. Seu principal objetivo é servir às comunidades astronômicas, geodésicas e geofísicas, fornecendo, entre outras coisas, os parâmetros de rotação da Terra necessários para o estudo e modelagem de suas variações. O IERS realiza sua

missão através de vários órgãos, entre os quais estão os Centros de Técnica (TC-*Technique Centers*). Os TC geralmente são serviços autônomos responsáveis por desenvolver e organizar as atividades de técnicas espaciais de observação tais como, ILRS (*International Laser Ranging Service*), IVS (*International VLBI Service for Geodesy e Astrometry*), DORIS (*Doppler Orbitography and Radio Positioning Integrated by Satellite*) e IGS (*International GPS Service*).

O *IERS ANNUAL REPORT* (2000) fornece os valores da velocidade de rotação da Terra entre os anos de 1623,5 a 2000,5.

4.1.1 ILRS

O ILRS foi estabelecido em 1998 em Deggendorf, Alemanha. Ele provê satélites globais e dados referentes a distâncias lunares medidas a laser. Esses resultados apóiam atividades de pesquisa geodésica e geofísica e mantêm a acurácia do ITRF (*International Terrestrial Reference Frame*).

- **SLR**

O SLR é uma técnica de geodésia espacial capaz de medir, da maneira mais precisa entre os métodos atuais, a distância entre uma estação terrestre e um satélite. Um pulso de laser é transmitido de um telescópio em uma estação terrestre e é refletido por um retrorefletor localizado em um satélite, retornando para a estação. É medido o tempo de ida e volta e, a partir dele, calcula-se a distância. Como essas medidas de distâncias são tomadas de estações SLR situadas em vários continentes, é possível determinar o movimento de placas tectônicas, órbitas dos satélites e os parâmetros de rotação da Terra.

- **LLR**

Desde 1969 é possível determinar distâncias precisas entre a Terra e a Lua através de técnicas de medidas de distâncias baseadas em laser. Esta técnica é mais difícil que aquela envolvendo satélites. O retorno do sinal é muito fraco, pois somente um fóton de cada 10^{19} transmitidos é coletado de volta. Baseando-se nas longas séries de distâncias precisas da Lua é possível calcular efemérides muito precisas da órbita lunar.

4.1.2 NAVSTAR-GPS-NAVigation System with Time And Ranging-Global Positioning System

O NAVSTAR-GPS é um sistema de navegação cuja idéia básica consiste na medida das distâncias entre o usuário e quatro satélites e é administrado pela Força

Aérea Americana. Conhecendo-se as coordenadas dos satélites num sistema de referência apropriado é possível calcular as coordenadas da antena do usuário neste mesmo sistema.

4.1.3 VLBI

Esta técnica mede a diferença de tempo na chegada de sinais de microondas de fontes de rádio extragaláticas (quasares), recebidas em dois ou mais rádio-observatórios. O uso de um grande número de medidas de diferenças de tempo obtidas a partir de muitas fontes observadas com uma rede mundial de antenas torna possível a determinação de uma rede de referência inercial definida por estes quasares, da posição relativa das antenas com precisão de poucos milímetros e da posição dos quasares com frações de milissegundos de arco. Mudanças relativas nas posições das antenas em uma série de medidas indicam movimento de placas tectônicas e deformação regional. As alterações na orientação a Terra no espaço inercial possuem duas causas principais: as forças gravitacionais do Sol e da Lua e a redistribuição do momento angular total entre a Terra sólida, o oceano e a atmosfera. Utilizando estes dados, os cientistas modelam fenômenos relativos ao momento angular atmosférico, correntes e marés oceânicas e o efeito elástico da Terra sólida.

4.1.4 DORIS

É utilizado para determinação precisa de órbitas e posicionamento preciso na Terra. Constitui um sistema de posicionamento desenvolvido e monitorado pelo CNES (*Centre National d'Etudes Spatiales*) com a cooperação do IGN (*Institut Géographique National*) e do GRGS (*Groupe de Recherche en Géodésie Spatiale*).

Este sistema de posicionamento proporciona medidas de distâncias-padrão a partir de sinais emitidos por uma rede de rádio-emissores localizados na superfície terrestre. Esses dados são processados na Terra e a bordo dos satélites com uma acurácia da ordem de centímetros, conduzindo a posições dos satélites em tempo real. Entre as várias aplicações do DORIS estão a determinação precisa de órbitas, a densidade de elétrons da ionosfera, a manutenção da acessibilidade e o aperfeiçoamento do ITRF, o auxílio na compreensão da dinâmica da Terra sólida, o monitoramento de geleiras e vulcões, o aperfeiçoamento no modelamento do campo de gravidade da Terra e da ionosfera e, ainda, o monitoramento da rotação da Terra.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A determinação da velocidade de rotação da Terra em escalas de tempo de dias, séculos e milhões de anos e a interpretação destas flutuações em termos de processos dinâmicos tem chamado a atenção de pesquisadores de diversas áreas da ciência

como Geodésia, Geofísica, Física, Astronomia, Geologia, Meteorologia e Oceanografia. Nesta interdisciplinaridade é que reside a importância da investigação desses fenômenos. Essas variações na rotação da Terra têm causado enormes tensões no interior do planeta e em sua crosta ao longo de milhares de anos. Tal como outros planetas no tempo presente, a Terra num passado distante tinha uma forma bem mais pronunciada de um esferóide oblato, pois girava mais rapidamente, visto que tinha um momento angular maior. Sendo a gravidade uma força centrípeta e portanto agindo através do centro da gravidade com sentido para o interior do planeta, acontece um contínuo ajustamento da forma da Terra à medida que variam seu momento angular e valor da gravidade. Isto tem trazido lentas e profundas mudanças no planeta através de enormes pressões dinâmicas e tensões. Um profundo efeito no clima também pode ser sentido ao longo dos séculos, já que um maior momento angular no passado causava a concentração das águas dos oceanos nas regiões tropicais e subtropicais e oceanos mais rasos nas regiões polares. Desta maneira, efeitos também são detectados na dinâmica da atmosfera, formação de ventos globais e evaporação. Estes efeitos que eram bem maiores em outras eras estão se tornando muito mais suaves, mas são ainda evidentes. Ainda, como consequência da diminuição da velocidade de rotação da Terra, a Lua irá se mover contínua e vagarosamente para longe de nosso planeta por bilhões de anos até que alcance o equilíbrio, ao mesmo tempo que o comprimento do dia irá aumentar até que a Terra e a Lua tenham o mesmo período de revolução e rotação, ou seja, elas terão sempre a mesma face voltada uma para a outra. Devido ao contínuo aprimoramento dos modelos para estudo da evolução do sistema Terra-Lua e ao fato das determinações da velocidade de rotação da Terra e outras observações geofísicas serem disponibilizadas com mais acurácia, frequência e abrangência, os estudiosos do assunto estarão cada vez mais capacitados a explorar novos dados objetivando entender melhor o comportamento do planeta.

6. REFERÊNCIAS

AFONSO, G. B. **Determinação dos Valores da Variação da Velocidade de Rotação da Terra e do Conseqüente Afastamento da Lua.** Curitiba, 1977. Tese (Mestrado em Física). Departamento de Física. Universidade Federal do Paraná.

CAZENAVE, A. **Interactions entre les Irregularities de la Vitesse de Rotation de la Terre et les Phenomenes Meteorologiques et Climatiques.** Toulouse, France, Université Paul Sabatier, 1975.

CAZENAVE, A.; DAILLET, S.; LAMBECK, K. **Tidal Studies from the Perturbations in Satellite Orbits.** Trans. R. Soc. Lond., v. A284, p. 596-606, 1977.

International Earth Rotation Service-Annual Report. Paris, Observatoire de Paris, Central Bureau of IERS, (2000)

LAMBECK, K. **The Earth's Variable Rotation: Geophysical Causes and Consequences**. New York, Cambridge University Press, 1980.

MARION, J. B.; THORNTON, S. T. **Classical Dynamics of Particles and Systems**. New York, Saunders College Publishing, 4. ed., 1995.

MIGNARD, F. **The Evolution of the Lunar Orbit Revisited I**. The Moon and the Planets, v. 20, p. 301-315, 1979.

MUNK W. H.; MACDONALD G. J. F. **The Rotation of the Earth**. New York, Cambridge University Press, 1960.

SANT'ANNA, A. S.; AFONSO, G. B. **On the Tidal Time Delay of the Earth**. Brazilian Journal of Geophysics, v. 16, n. 1, 1998.

STEPHENSON, F. R.; MORRISON, L. V. **Long Term Fluctuations in the Earth's Rotation: 700 B.C. to A. D. 1990**. Phil. Trans. R. Soc. A, v. 351, p. 165-202, 1995.

STEPHENSON, F. R. **Historical Eclipses and Earth's Rotation**. London, Cambridge University Press, 1997.

YU, N-H.; ZHENG D-W. **Contribution of the Atmosphere to the Seasonal Changes in Earth's Rotation**. Chinese Astronomy and Astrophysics, v. 24, p. 495-500, 2000.

WELLS, J. W. **Coral Growth and Geochronometry**. Nature, v. 197, p. 948-950, 1963.

WILLIAMS, G. E. **Geological Constraints on the Precambrian History of Earth's Rotation and the Moon's Orbit**. Reviews of Geophysics, v. 38, n. 1, p. 37-59, 2000.

7. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior (CAPES) pelo suporte financeiro.

DEZ ANOS DE MONITORAMENTO DO NÍVEL DO MAR NO IBGE

Roberto Teixeira Luz ¹
Valéria Mendonça Guimarães ²

1 IBGE – Departamento de Geodésia – roberto@ibge.gov.br

2 IBGE – Departamento de Geodésia – valeriamg@ibge.gov.br

RESUMO

Apresentam-se as motivações para o IBGE estabelecer a Rede Maregráfica Permanente para Geodésia, dentre as quais destaca-se a necessidade de correlacionar os diversos referenciais verticais existentes ao longo do litoral brasileiro ao Datum de Imbituba. Aborda-se a situação atual da RMPG, analisando-se os resultados preliminares das três estações maregráficas já implantadas — Imbituba, Macaé e Salvador. Tais resultados incluem uma possível diferença de 20 cm entre os níveis médios passado e atual em Imbituba, além da estabilidade marcante do nível médio em Salvador — contrariamente ao que acontece em Imbituba e Macaé —, sem deixar de ressaltar que o tratamento de tais observações encontra-se ainda em estágio inicial. São relacionadas as próximas etapas do estabelecimento e operação da RMPG : implantação das estações de Fortaleza e Santana ; conclusão da conversão das observações dos marégrafos auxiliares de cada estação e sua correlação com as observações digitais dos marégrafos primários ; implantação de receptores GPS permanentes.

Palavras-chave: Datum Vertical ; Nível Médio do Mar ; Rede Maregráfica Permanente para Geodésia

ABSTRACT

The paper presents the motivations for IBGE to establish the Geodetic Tide Gauge Network (RMPG), among which it is emphasized the need for a correlation between Imbituba Datum and the multiple vertical references existent along Brazilian coast. The status of RMPG is commented, analysing the preliminary results of the three operational tide gauge stations — Imbituba, Macaé e Salvador. These results include an eventual 20-cm-difference between past and present mean sea levels at Imbituba,

besides the noticeable stability of the mean sea level at Salvador — contrarily to that at Imbituba and Macaé —, emphasizing that the data processing is in its initial phase. Next steps of the establishment and operation of RMPG are : instalation of the stations at Fortaleza and Santana ; conclusion of conversion of the secondary tide gauge observations in each station, and its correlation with digital data of primary gauges ; colocation with permanent GPS receivers.

Keywords: Vertical Datum ; Mean Sea Level ; Geodetic Tide Gauge Network

1. MOTIVAÇÕES

Em abril de 1993 entrava em operação a Estação Maregráfica Experimental de Copacabana (EMEC). Dez anos depois, o IBGE está prestes a alcançar o objetivo que, durante várias décadas, permaneceu apenas como aspiração de muitos de seus geodestas : o estabelecimento de uma rede de estações maregráficas para subsidiar estudos relacionados ao Datum Altimétrico do Sistema Geodésico Brasileiro (SGB). Hoje, a Rede Maregráfica Permanente para Geodésia (RMPG) tem três estações em operação — Imbituba (SC), Macaé (RJ) e Salvador (BA) —, e planeja instalar ainda em 2003 as duas restantes, em Fortaleza, CE, e Santana, AP (Figura 1).

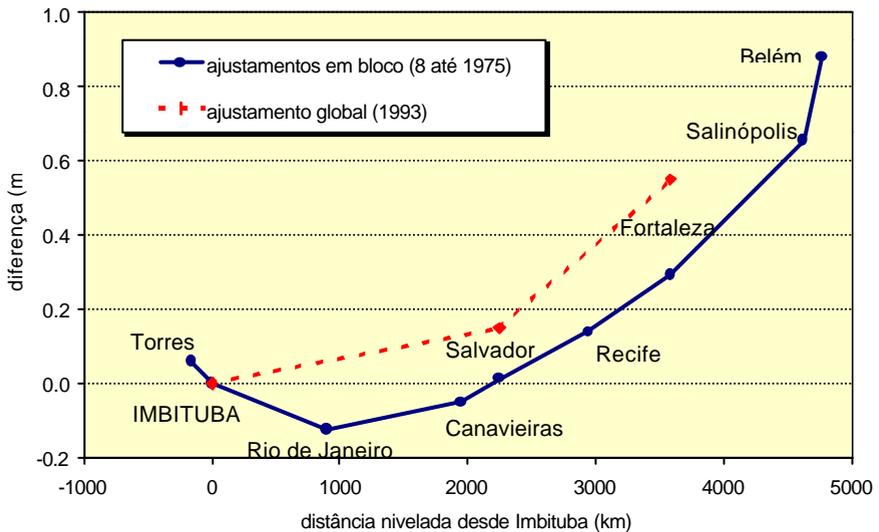
FIGURA 1 – Rede Maregráfica Permanente para Geodésia (RMPG)



Uma vez completa, a RMPG permitirá correlacionar ao Datum de Imbituba os diversos referenciais verticais existentes ao longo do litoral brasileiro. Um dos cenários em que a RMPG assumirá maior importância é constituído pelos trabalhos e pesquisas em regiões costeiras cujo controle altimétrico é dado pelas Referências de Nível (RRNN) do SGB mas buscam referir-se ao nível médio local. Por exemplo, grandes obras de revitalização de bairros portuários podem encontrar problemas de drenagem das águas pluviais se não forem considerados não só o nível médio local como também o nível máximo.

A Figura 2 apresenta a relação entre o Datum de Imbituba e vários níveis médios locais. Tal relação foi determinada progressivamente durante todo o período de estabelecimento da Rede Altimétrica de Alta Precisão (RAAP) do SGB, sempre que suas linhas de nivelamento geométrico conectavam-se aos marégrafos existentes. Conclui-se, por exemplo, que o nível médio do mar em Salvador estaria cerca de 1 cm acima do Datum, enquanto que em Fortaleza essa diferença chegaria a 30 cm. Mais recentemente, o reajustamento global da RAAP — que corrigiu as distorções introduzidas na rede pelos sucessivos ajustamentos de blocos isolados (Luz & Guimarães, 2001) — alterou tais valores para 15 cm e 55 cm, respectivamente.

FIGURA 2 – Diferenças entre o Datum de Imbituba e o nível médio local em alguns pontos do litoral brasileiro (Alencar, 1990), com indicação dos efeitos do refinamento das altitudes do SGB pelo ajustamento global da RAAP (Luz & Guimarães, 2001)



No entanto, não só a diversidade das datas de referência dos níveis utilizados nesse gráfico, quanto sua desatualização, levam à necessidade de uma estrutura permanente, e organicamente vinculada ao SGB — como a RMPG —, para refinar as informações de correlação entre os referenciais verticais envolvidos. Esse refinamento pode ser dividido em duas etapas. A primeira será constituída pela correlação temporal entre as observações atuais de Imbituba e aquelas utilizadas para a definição do Datum. As observações atuais, por sua vez, poderão ser correlacionadas espacialmente com as observações para os mesmos períodos das outras estações.

2. EVOLUÇÃO TEMPORAL DO NÍVEL DO MAR EM IMBITUBA

2.1. A ANTIGA ESTAÇÃO MAREGRÁFICA

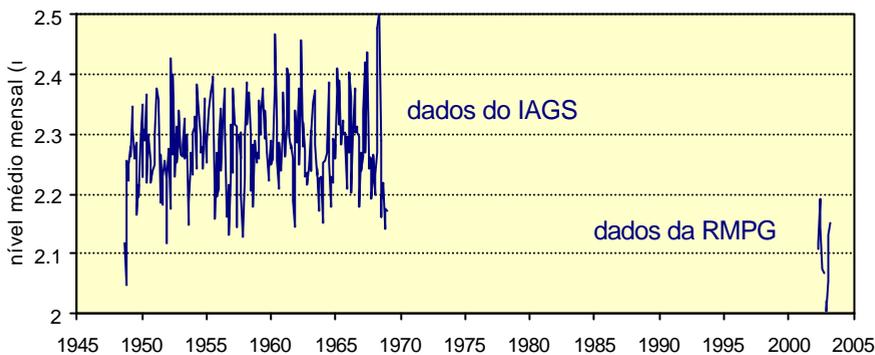
Em 1948, o *Inter-American Geodetic Survey* (IAGS), unidade da antiga agência militar de mapeamento (DMA, hoje NIMA) dos EUA, iniciou um extenso programa de colaboração com diversas instituições brasileiras, dentre as quais o Conselho Nacional de Geografia (CNG, hoje Fundação IBGE), que recebeu grande apoio em suas operações geodésicas. O IAGS também apoiou o então Departamento Nacional de Portos, Rios e Canais (DNPRC, depois Portobrás, hoje extinta) com a implantação de nove estações maregráficas na costa brasileira. O período de operação de tais estações não foi homogêneo, variando de poucos anos (e.g., Salinópolis, MA) até duas décadas (p.ex., Fortaleza, Salvador e Imbituba). Em 1968 o IAGS encerrou suas atividades maregráficas no Brasil, doando os equipamentos e instalações ainda operacionais ao Instituto de Pesquisas Hidroviárias (InPH, sucessor da Divisão de Hidrografia do DNPRC), que também experimentou dificuldades em manter sua operação. São mostradas, na Figura 3, as médias mensais das observações referentes ao período de operação do IAGS, armazenadas no *Permanent Service for Mean Sea Level* (PSMSL), banco mundial de dados de nível do mar. A análise comparativa dos dados recentes é abordada nas próximas seções.

2.2. A DEFINIÇÃO DO DATUM DE IMBITUBA

Em 1959, quando a RAAP já alcançara o Estado da Paraíba, totalizando mais de 10 mil RRNN implantadas e 30 mil quilômetros de duplo nivelamento, foi realizado seu terceiro ajustamento manual (Alencar, 1968). Contrariamente aos ajustamentos anteriores, que haviam mantido o Datum de Torres, neste ajustamento o CNG introduziu um novo datum vertical, melhor definido através da média das observações do nível do mar no marégrafo do IAGS em Imbituba, entre 1949 e 1957. A comparação direta das altitudes referidas aos dois *data* não é possível, já

que os respectivos ajustamentos consideraram redes bastante diferentes – o último ajustamento referido a Torres foi realizado em 1952, com aproximadamente metade das observações do ajustamento de 1959. Entretanto, a fim de permitir correlações isoladas, foi determinado um valor médio de 5,84 cm para a elevação do Datum de Torres acima do Datum de Imbituba.

FIGURA 3 – Médias mensais das observações da antiga estação maregráfica de Imbituba (PSMSL, 1996) e da nova estação da RMPG



Depois da introdução de Imbituba, em 1959, não foram feitas alterações na definição do Datum Vertical do SGB, apesar de existirem observações em Imbituba e em outras estações, para períodos bem maiores, como mostrado na Figura 3.

2.3. AS OBSERVAÇÕES DA ESTAÇÃO DA RMPG

Após um período indeterminado, no início da década de 1990, em que não houve coleta de dados de nível do mar, a Companhia Docas de Imbituba (CDI) retomou em 1999 a operação contínua de um marégrafo convencional. Em 2001, o Departamento de Geodésia (DEGED) do IBGE instalou sensores mareográficos e meteorológicos digitais, que configuram, juntamente com o equipamento convencional, uma estação maregráfica que segue o padrão da RMPG.

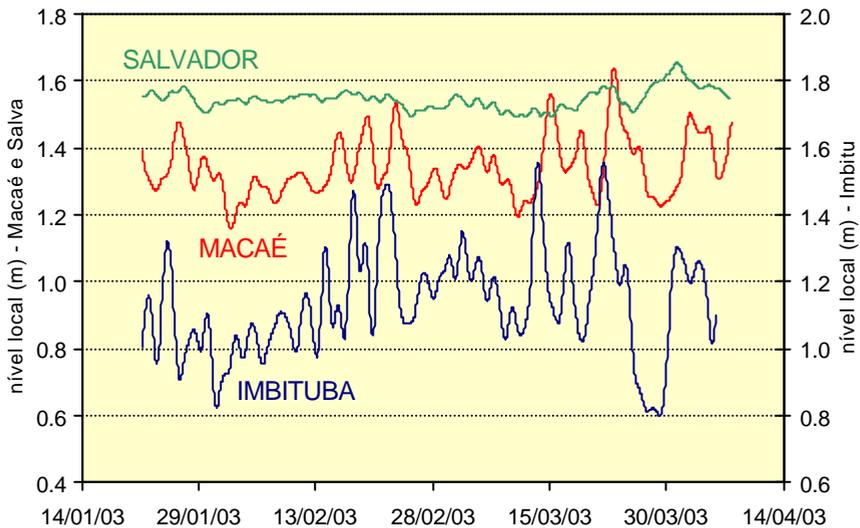
A Figura 3 mostra os primeiros resultados da integração das novas observações à série histórica de dados do IAGS. Observa-se uma nítida diferença, de aproximadamente 20 cm, cuja interpretação deve ser feita com extremo cuidado. Além do número insuficiente de observações, não existe ainda segurança sobre possíveis alterações de seu nível de referência, devido ao grande período com ausência de observações e ao pequeno número de reocupações de RRNN da estação através de nivelamentos geométricos periódicos (Dalazoana et. al., 2002). Por esse e

outros motivos, é essencial a recuperação dos dados pós-1968 (Dalazoana et. al., 2003).

3. EVOLUÇÃO ESPACIAL : NÍVEIS MÉDIOS ATUAIS EM MACAÉ E SALVADOR

Como já mencionado, a utilização dos resultados apresentados na Figura 2 é bastante problemática, em vista da difícil identificação dos períodos de referência dos níveis médios locais, e também da multiplicidade de padrões de operação e tratamento das observações de cada marégrafo. O estabelecimento de uma rede como a RMPG elimina tal problema, uma vez que o gerenciamento unificado de seus processos minimiza os efeitos da citada multiplicidade, e a operação em rede, por si só, fornece uma base de dados com referência temporal única.

FIGURA 4 – Níveis médios (filtro de 168 horas) nas estações atuais da RMPG



A Figura 4 mostra dados de um mesmo período (jan-abr/2003) das três estações da RMPG em operação. As observações brutas dos marégrafos digitais, com intervalo de amostragem de 5 minutos, foram filtradas para obtenção, inicialmente, de valores horários (Pugh, 1987) e, sucessivamente, dos valores semanais apresentados no gráfico. Observa-se que a influência meteorológica é bastante acentuada em Imbituba, cujos eventos também influenciam o nível médio em Macaé. A notável estabilidade do nível médio em Salvador deve ainda passar pelo

crivo do tempo ; confirmando-se em um cenário de longo prazo, tal estabilidade pode levar à escolha dessa estação para futuros estudos mais aprofundados, como, por exemplo, a integração de observações de altimetria por satélites e de GPS. Nesse último aspecto a situação é bastante favorável, pois já existe, há vários anos, uma estação da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC) do GPS a poucos quilômetros da estação maregráfica.

Contudo, o controle geodésico é imprescindível não apenas para Salvador, mas sim para todas as estações da RMPG. Nesse contexto, terão papel essencial : a repetição das linhas de nivelamento entre as estações maregráficas, com informações gravimétricas, que possibilitará a determinação rigorosa das altitudes científicas de suas RRNN ; o controle tridimensional dessas RRNN, através de estações GPS permanentes ou da repetição freqüente de campanhas GPS, para identificar movimentos crustais que poderiam introduzir variações anômalas nos resultados de nível médio ; e a altimetria por satélites, que levará à minimização dos efeitos da topografia do nível médio, através da aplicação de modelos adequados para a correção da perda de resolução nas regiões costeiras.

4. CARACTERIZAÇÃO DA RMPG

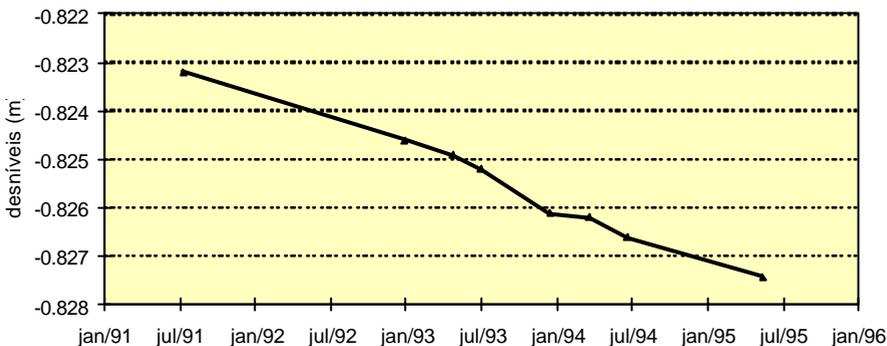
4.1. ANTECEDENTES

O envolvimento efetivo do DEGED/IBGE no monitoramento do nível do mar teve início em abril de 1993, quando entrou em operação a Estação Maregráfica Experimental de Copacabana (EMEC). Tal estação foi reconfigurada pelo DEGED, com apoio da DHN e do InPH, a partir dos componentes instalados pela COPPE/UFRJ alguns anos antes como parte dos estudos dessa instituição sobre a Lagoa Rodrigo de Freitas, na cidade do Rio de Janeiro.

A EMEC operou entre abril de 1993 e março de 1994, quando foi destruída pelas grandes ondas associadas à passagem de uma forte frente fria (“ressaca”). Por tratar-se de estação bastante singela (marógrafo convencional diário, sem abrigo) e instalada em local inadequado (raso e sem controle de acesso do público), o DEGED preferiu não recuperar a EMEC, optando por estabelecer uma nova estação em local mais favorável e que não acarretasse uma superposição com estações de outras instituições. No entanto, o objetivo da EMEC foi cumprido integralmente — o DEGED adquiriu experiência nos procedimentos de coleta e tratamento de dados do nível do mar. Essa foi uma etapa essencial do processo de capacitação dos técnicos do IBGE, após vários anos de contato com diversas instituições atuantes no campo do nível do mar. Um dos principais resultados da experiência em Copacabana foi a constatação de que os registros de marógrafos convencionais podem indicar variações de nível do mar fictícias, fruto de derivas instrumentais e movimentos verticais das RRNN de controle (Figura 5). Também merecem destaque os estudos

da influência das ondas sobre a observação do nível do mar com marégrafos convencionais, que permitiram aprimorar o planejamento e a especificação das estações maregráficas de interesse geodésico, necessariamente instaladas em costa aberta, i.e., em locais sujeitos à ação de ondas de alta e média frequência (Luz, 1996).

FIGURA 5 – Evolução do desnível entre as RRNN 1033-A e 2969-F, que faziam parte da estrutura de controle geodésico da EMEC (Luz, 1996)



4.2. ESPECIFICAÇÕES

Em novembro de 1994 o DEGED assumiu a operação de um marégrafo convencional da Petrobrás no Porto de Imbetiba, em Macaé, RJ. Gradualmente, foram introduzidos aprimoramentos na estrutura dessa estação maregráfica, transformando-a numa estação piloto da então futura RMPG. Dentre esses aprimoramentos, vale destacar a operação simultânea de pelo menos dois marégrafos, iniciada em novembro de 1995 com a instalação de um segundo marégrafo convencional. Esse padrão de operação ainda prevê que os equipamentos possuam princípios de funcionamento diferentes, com o objetivo de minimizar a ausência de observações por falha instrumental, e que pelo menos um dos marégrafos seja digital (armazenamento e transferência dos dados), para que as observações estejam disponíveis em tempo real, sempre que necessário. O primeiro marégrafo digital, cujo princípio de funcionamento elimina a possibilidade de ocorrência de deriva instrumental, foi instalado em Macaé em abril de 1998. A esse marégrafo juntou-se, em julho de 2001, um segundo equipamento digital, de projeto mais completo e robusto, com operação baseada na observação e conversão da pressão hidrostática em altura da coluna d'água. A utilização desse tipo de sensor deve ser feita com bastante cuidado, devido à possibilidade de efeitos anômalos decorrentes da conversão para nível d'água e da ocorrência de variações não-lineares

da pressão hidrostática (p.ex., em função da propagação de ondas). A existência de equipamentos baseados em diferentes princípios de operação também permite controlar a incidência dessa espécie de problema.

A experiência do DEGED na Estação Maregráfica de Macaé também levou ao desenvolvimento do padrão de instalação da RMPG, constituído de abrigo (adaptado para o nivelamento da referência de leitura dos equipamentos), poços de tranquilização com pequena necessidade de manutenção (tubos de PVC de alta pressão com orifícios em tampas cônicas auto-limpantes) e régua de marés com trilhos-guia e graduação usinada de alto contraste, que facilita enormemente a operação e a manutenção.

4.3. A REDE

A concepção da RMPG data de 1997, quando foram definidos preliminarmente os locais para instalação das estações da rede : Imbituba, Macaé, Salvador, Fortaleza e Santana. Além do critério de espaçamento regular, a definição desses locais baseou-se na importância histórica como Datum (além de Imbituba, o SGB tem ainda o nível médio do mar no Porto de Santana como datum altimétrico para a pequena porção isolada da RAAP no Amapá) e a coincidência de antigas estações do IAGS com Unidades do IBGE (Salvador e Fortaleza) que facilitaria sua operação e manutenção. No entanto, a efetiva implantação da RMPG foi possível somente a partir de 2001, com a chegada dos primeiros equipamentos digitais adquiridos pelo próprio IBGE, instalados em Macaé e Imbituba. Em 2002, foi instalada a Estação Maregráfica de Salvador, com equipamentos emprestados pela DHN e apoio logístico da Companhia de Desenvolvimento Regional (CONDER) da Bahia.

5. PERSPECTIVAS

A RMPG vem sendo gerenciada com uma diretriz principal : dar máxima prioridade à manutenção da qualidade das observações coletadas por suas estações. Tal procedimento acarretou, no período inicial de operação dos equipamentos digitais, atrasos nas demais atividades, notadamente no tratamento das observações gráficas. Esses atrasos estão sendo progressivamente minimizados, esperando-se para os próximos meses a integração das observações gráficas às séries digitais. Com isso, tornar-se-ão finalmente disponíveis, através do Banco de Dados Geodésicos (BDG) do IBGE, todos os resultados da RMPG, isto é, não somente as alturas horárias, mas também níveis médios em várias periodicidades, tábuas de maré prevista etc.

Espera-se que as estações de Fortaleza e Santana sejam implantadas ainda em 2003. A estação de Fortaleza terá papel essencial, uma vez que será a responsável pela determinação do nível médio para a porção do litoral do Nordeste exposta ao

Atlântico Norte. Já a estação de Santana será importante ferramenta para a vinculação entre os *data* verticais de Imbituba e Santana.

A integração da RBMC à RMPG, com a instalação de receptores GPS permanentes em suas estações maregráficas, também é uma importante meta de médio prazo. A determinação contínua da posição geocêntrica das estações permitirá detectar e extrair, dos dados de nível do mar, quaisquer tendências com origem não oceanográfica. Como informado anteriormente, em Salvador tal integração já é realidade.

6. CONCLUSÕES

A disponibilidade de dados digitais contínuos nas atuais estações da RMPG — em Macaé desde julho/2001, em Imbituba desde setembro/2001, e em Salvador desde janeiro/2003 — ainda não permite a realização de correlações confiáveis entre os referenciais altimétricos existentes no litoral brasileiro. O tratamento da grande quantidade de dados gráficos, que estendem em vários anos os períodos citados, vem desenvolvendo-se em um ritmo mais lento que o desejado. Mas essas dificuldades estão sendo superadas, com a priorização da RMPG nas atividades geodésicas do IBGE, esperando-se que, nos próximos dois anos, os primeiros resultados consolidados possam ser divulgados.

7. REFERÊNCIAS

Alencar, J. C. M. (1968) **Sistema Nacional de Nivelamento de 1ª Ordem**. Conferência Nacional de Geociências, IBGE, Rio de Janeiro.

Alencar, J. C. M. (1990) **Datum Altimétrico Brasileiro**. Cadernos de Geociências, IBGE, 5:69-73, Rio de Janeiro.

Luz, R. T., Guimarães, V. M. (2001) **Realidade e Perspectivas da Rede Altimétrica de Alta Precisão do Sistema Geodésico Brasileiro**. II Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas, Curitiba.

PSMSL (1996) **Permanent Service for Mean Sea Level**. <http://www.pol.ac.uk>.

Dalazoana, R., Freitas, S. R. C., Luz, R. T. (2002) **Acompanhamento do Datum Altimétrico IMBITUBA através das Redes Altimétrica e Maregráfica do Sistema Geodésico Brasileiro**. VII Congresso Internacional de Ciências da Terra, Santiago, Chile.

Dalazoana, R., Freitas, S. R. C., Luz, R. T. (2003) **Importância do Resgate e Análise da Série Temporal de Observações Maregráficas no Porto de Imbituba.** III Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas, Curitiba.

Luz, R. T. (1996) **A Influência das Ondas de Alta e Média Frequência na Observação do Nível do Mar para Aplicações Geodésicas.** Dissertação de Mestrado, Coordenação dos Programas de Pós-Graduação de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

IOC (1985) **Manual on Sea Level Measurement and Interpretation.** vol. I, UNESCO/Intergovernmental Oceanographic Commission, Paris.

IOC (1994) **Manual on Sea Level Measurement and Interpretation.** vol. II, UNESCO/Intergovernmental Oceanographic Commission, Paris.

Pugh, D.T. (1987) **Tides, Surges and Mean Sea-Level.** John Wiley & Sons, Chichester.

8. RECONHECIMENTO

Foi longo o caminho desde os primeiros nivelamentos, em 1945, até a RMPG de 2003. A situação atual é uma conquista coletiva de todos aqueles que trilharam esse caminho, seja nos últimos meses, seja nos tempos pioneiros do CNG. A maioria dos nomes perdeu-se na poeira dos tempos e da papelada, mas o esforço pessoal de cada um permanece sendo recompensado sempre que “a Fundação” tem seu trabalho e sua história reconhecidos.

POSSIBILIDADE DE EMPREGO DO MODELO DIGITAL DE TERRENO NA AVALIAÇÃO DO SOLO URBANO

Mestrando Luiz Carlos dos Santos Borges¹
Prof^ª. Dr^ª. Andréa de Seixas²
Prof. Dr. Tarcísio Ferreira Silva³
Prof^ª. Dr^ª. Veronica M. C. Romão⁴

- 1 Universidade Federal de Pernambuco – lluizborges@aol.com
2 Universidade Federal de Pernambuco – aseixas@gmx.net
3 Universidade Federal de Pernambuco – tarcisiofs@yahoo.de
4 Universidade Federal de Pernambuco – vcosta@npd.ufpe.br

RESUMO

Este trabalho propõe uma alternativa de mensuração dos efeitos do posicionamento geodésico nos modelos inferenciais de avaliação para o solo urbano, considerados a partir da aplicação dos conceitos utilizados na definição de um Modelo Digital de Terreno, segundo uma função de interpolação que ajusta os dados pela técnica dos mínimos quadrados.

Palavras-chave: Ciências Geodésicas; Normas; Avaliação; Modelo Digital de Terreno

ABSTRACT

This work proposes an alternative of mensuração of the effects of the geodesic positioning in the models evaluation inferenciais for the urban soil, considered starting from the application of the concepts used in the definition of Digital Terrain Models, second an interpolação function that adjusts the data for the technique of the square minima.

Keywords: Geodetic Science; Rules; Avaluation; Digital Terrain Model

1. INTRODUÇÃO

A mensuração dos aspectos de localização, nos modelos de avaliação do solo urbano, são realizadas geralmente a partir da identificação de regiões homogêneas, onde o comportamento do valor, em função desta variável, é graduado em igual intensidade para todos os imóveis dentro da região, o que provoca descontinuidades nas fronteiras entre regiões..

A utilização de modelos inferenciais, que admitem por definição a existência de mudanças bruscas de valor em regiões contíguas com pouca diversidade, constitui uma alternativa de solução que não se coaduna com a expectativa de variação gradual do valor no espaço geodésico.

A possibilidade de utilização da técnica de construção de modelos digitais de terreno, que permite que seja incorporada a variável de posicionamento espacial aos atributos qualificadores e quantificadores do solo urbano. O ajustamento destes modelos de tendência, *trend surface*, é realizado pela técnica dos mínimos quadrados, sendo possível verificar a gradação do valor em função da variação da posição no espaço, sendo uma alternativa interessante em substituição aos modelos convencionais empregados.

A análise comparativa, entre o emprego do modelo digital e o emprego do modelo inferencial convencional, é apresentado neste artigo como forma de substanciar a concepção teórica apresentada, assim como é demonstrado uma rotina para determinação do valor do solo urbano a partir de uma superfície matemática

2. AVALIAÇÃO DO SOLO URBANO

2.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

A avaliação do solo urbano consiste na determinação técnica de seu valor ou dos direitos a ele relativos. Este valor, na visão da NBR 5676/90 - Norma Brasileira para Avaliação de Imóveis Urbanos -, “corresponde sempre aquele que, num dado instante, é único, qualquer que seja a finalidade da avaliação”. Os trabalhos avaliatórios podem ser estimuladas em função dos interesses da iniciativa privada, do poder público ou ainda através dos danos e prejuízos causados por acidentes climatológicos ou por terceiros.

As análises de valor por interesse da iniciativa privada podem ser estimuladas em função das transações de compra e venda de imóveis, da constituição de sociedades, da contabilidade de ativos numa empresa, da garantia de hipotecas, dentre outros casos, enquanto que as avaliações de interesse do poder público são originadas da necessidade de lançamento de tributos (impostos sobre a propriedade imobiliária, contribuição de melhoria), da implantação de plano de obras que imponha a indenização ou desapropriação de propriedade privada, bem como para servir de apoio a decisão em demandas judiciais.

A aplicação da metodologia mais adequada para realização de um trabalho de avaliação depende fundamentalmente das condições mercadológicas com que se defronta o avaliador, das informações coletadas neste mercado, bem como pela natureza do serviço que se pretende desenvolver (Dantas, 1999).

O valor final a ser estimado deverá ser o resultado do uso de mais de um método, que em determinadas circunstâncias poderão ser conjugados, sendo classificados na norma brasileira em métodos diretos e indiretos (NBR 5676/90):

a) Métodos Diretos :

a.1) Comparativo de dados de mercado

a.2) Comparativo de custo de reprodução

b) Métodos Indiretos

b.1) Da renda

b.2) Involutivo

b.3) Residual

A metodologia comparativa entre dados assemelhados de uma região, necessária à definição do valor do solo urbano, requer um conjunto de combinações de procedimentos sobre o conjunto de dados amostrados para definir o comportamento do mercado imobiliário. Este conjunto de dados pode ser estratificado enquanto variáveis quantitativas - atributo mensurável -, qualitativas - vários níveis (scores) para o atributo -, ou ainda dicotômicas, indicando a existência ou não da qualidade atributiva.

2.2 O ESPAÇO DE VALOR E O ESPAÇO GEODÉSICO

A abordagem do espaço de valor, para compreensão do valor do solo urbano no espaço geodésico, decorre da evidencia de que o valor é quantificado dentro de limites físicos do território tomado como amostra, sendo necessário portanto agregar o conceito da dimensionalidade do espaço aos atributos utilizados para contextualizar o valor do solo.

A dimensão do espaço geodésico pode ser obtida através de métodos de posicionamento geodésico, onde os levantamentos executados obedecem à regra básica da geodésia, a qual estabelece que cada ponto novo determinado deve ser amarrado ou relacionado a todos os pontos já existentes. Este conjunto de pontos denomina-se 'campo de pontos de referência', que de acordo com a NBR 14.166/98, deve constituir a rede de referência cadastral de apoio básico a todos os levantamentos que se destinem a projetos, cadastros ou implantação de obras no âmbito municipal, georreferenciada ao Sistema Geodésico Brasileiro.

A dimensão real do solo urbano pode ser dada portanto pelo conjunto de coordenadas que descrevem os limites físicos de sua localização, conforme estabelecido em Phillips (1996), "Os limites legais de lotes e parcelas devem ser

definidos através de coordenadas, determinadas em levantamentos técnicos padronizados e fisicamente demarcados.....'.

A idéia abstrata de espaço amostral poderá ser melhor explicitada e dimensionada quando articulada aos aspectos do posicionamento geodésico, já que esta junção poderá constituir uma alternativa concreta para definição dos limites geométricos do espaço de valor. A precisão com que se obtém a posição e a descrição das observações não poderá ser negligenciada, pois a incorreção de qualquer das variáveis poderá comprometer as estimativas.

A posição de cada elemento constituinte do espaço amostral formará o conjunto de pontos objeto, obtidos a partir dos pontos de referencia, segundo métodos e instrumentação que possibilite a obtenção da exatidão posicional especificada para o levantamento

2.3 MODELOS INFERENCIAIS DE AVALIAÇÃO

O tratamento estatístico de uma base de dados, que define uma amostra do mercado imobiliário do solo urbano, é efetuado de forma a modelar o valor $E(Y)$ do vetor Y , que contém os valores coletados de oferta e/ou transação, como uma função, possivelmente não-linear, das variáveis explicativas (X_i) definidas (Cordeiro, 1986) :

$$Y = f(b, X_i) + \epsilon,$$

Onde b é o vetor de parâmetros a ser estimado, que permite inferir o peso de cada uma das variáveis explicativas sobre o comportamento da variável resposta Y , e ϵ o erro aleatório do modelo de regressão.

O critério de escolha do modelo contempla aquele que detiver o maior número de variáveis explicativas, estatisticamente significativas, o menor desvio e que melhor se ajuste aos dados, o que permitirá, de uma forma geral medir a discrepância entre os dados observados e os valores ajustados.

Na construção dos modelos são observados alguns critérios para validação da técnica de ajustamento por mínimos quadrados, a qual consiste primeiramente em analisar se as variáveis explicativas elencadas podem ser condensadas em um conjunto menor de componentes, de forma a evitar a ocorrência de relação entre as variáveis independentes (multicolinearidade).

A condição de ajustamento do modelo está circunstanciada à estabilizar a variância do erro (ϵ), que poderá ser obtida pelo emprego de uma transformação logarítmica ou de raiz quadrada, sobre a variável resposta, ou então modelando-se a variância do erro com o ajustamento dos dados por mínimos quadrados generalizados (Dantas, 1998). A definição da transformação mais adequada para a variável independente do modelo poderá ser feita usando-se formas estatísticas como o teste de Tukey (1977), conhecido como método das covariáveis adicionais (G.M. Cordeiro, 1986), ou ainda a família de transformações de Box e Cox (1964).

Selecionado o melhor modelo, torna-se possível prever o valor do solo urbano, observando-se no entanto os limites para aplicação do modelo representado pelo nível de precisão das variáveis explicativas e das observações de valor.

3. MODELO DIGITAL DE TERRENO NA AVALIAÇÃO

3.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

Os fenômenos que ocorrem no espaço geográfico podem ser classificados enquanto variáveis com distribuição discreta, onde verifica-se a ocorrência do fenômeno numa região específica (número de habitantes, uso do solo, tipo de cobertura vegetal, dentre outros) com mudanças bruscas do atributo nas fronteiras das regiões contíguas, ou variáveis com distribuição contínua (temperatura, pressão, valor do solo, dentre outros) onde verifica-se uma variação gradual do fenômeno de um lugar para o outro.

As observações dos fenômenos são classificadas portanto como dados absolutos, quantidade ou qualidade, ou como dados derivados, expressados a partir de uma relação entre os elementos da amostra, como por exemplo a média e a densidade. Um outro tipo de dado derivado é aquele obtido por uma equação de regressão, a qual possibilita a estimação de valores fundamentada na técnica de ajustamento por mínimos quadrados.

Os modelos digitais são frequentemente utilizados para representar os dados derivados, sendo sua variação no espaço geodésico contínuo suavizada por métodos de interpolação espacial, os quais podem ajustar, de forma global, uma superfície matemática para toda uma área de interesse, ou então se dedicar ao ajuste local das descontinuidades em partes da região..

A superfície de um modelo digital de terreno, para representação da variação do valor do solo urbano, poderá ser construída a partir de uma amostra do mercado imobiliário, em que o valor unitário de oferta e/ou transação define a terceira componente dimensional (Z) e a posição (N, E) identifica o centro de gravidade do polígono que descreve os limites de cada solo urbano.

A norma brasileira para avaliação de imóveis urbanos, NBR 5676/90, estabelece em seu item 7.6.4 que “o número (N) de dados de mesma natureza efetivamente usados no tratamento inferencial é definido pela soma do número (k) de variáveis (explicada e explicativa) utilizada no modelo de regressão, mais um mínimo de cinco graus de liberdade, isto é, $N \geq k + 5$ ”.

3.2 MÉTODO DE ENTERPOLAÇÃO ESPACIAL

O método de interpolação espacial para ajuste global de modelos, *trend surface*, assume que a equação polinomial definidora da superfície, no espaço bidimensional, seguirá os seguintes princípios básicos:

- Os dados observados são considerados independentes, ou seja, não há autocorrelação
- As observações tem função de distribuição de probabilidade aproximada pela normal : $Z_i \sim N(\mu, \sigma)$
- As variáveis explicativas (N, E,) tem comportamento linear
- A variancia do erro é constante, ou seja, o modelo é homocedástico

Estas superfícies polinomiais podem se apresentar da seguinte forma:

- Linear : $Z = f(E, N) = b_0 + b_1 * E + b_2 * N$
- Bi-linear $Z = f(E, N) = b_0 + b_1 * E + b_2 * N + b_3 * E * N$
- Quadrática : $Z = f(E, N) = b_0 + b_1 * X + b_2 * Y + b_3 * X^2 + b_4 * XY + b_5 * Y^2$
- Cúbica: $Z = f(X, Y) = b_0 + b_1 * X + b_2 * Y + b_3 * X^2 + b_4 * XY + b_5 * Y^2 + b_6 * X^3 + b_7 * X^2 * Y + b_8 * XY^2 + b_9 * Y^3$

A significância estatística das superfícies de tendência pode ser testada de forma similar ao ajustamento de funções de regressão múltipla (Burrough, 1986), sendo a análise de variancia efetuada com base na seguinte tabela (Tabela 6.1, Dantas, 1999, pag. 134), onde **p** é o número de parâmetros estimados e **n** é o número de elementos observados:

	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Média dos Quadrados
Regressão	SQR	p - 1	MQR = SQR / p - 1
Resíduos	SQE	n - p	EMQ = SQE / n - p
Total	SQT	n - 1	SQT / n - 1

O coeficiente de determinação múltipla (R), de ajuste do modelo, é a razão entre (SQR / SQT). Segundo Dantas (1999), a desvantagem deste coeficiente é que para uma mesma amostra ele cresce na medida em que aumentam o número de variáveis independentes incluídas no modelo, não levando em conta o número de graus de liberdade perdidos a cada parâmetro estimado.

Para corrigir esta deficiência é preferível utilizar o Coeficiente de Determinação Ajustado, que para um modelo com k variáveis independentes, ajustado a uma amostra de n elementos, é calculado através da seguinte expressão:

$$R = 1 - (1 - R_i) * (n - 1) / (n - k - 1)$$

3.3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A amostra que possibilitará a definição do modelo digital de terreno será composta a partir das coordenadas (N,E,Z), onde Z é o parâmetro de valor a ser modelado, expresso em função da posição (N,E) e das variáveis qualificadoras e quantificadoras do solo urbano.

A variável explicada Z (R\$/m²) é correlacionada às coordenadas (N, E) que define o centro de gravidade ou centro de massa do polígono que representa a geometria do lote.

A percepção de que cada coordenada norte e leste, pode se constituir numa variável independente do modelo é perfeitamente aceitável, visto que a situação ideal é de que estes vetores sejam perpendiculares entre si, e portanto, tenham produto interno nulo. Este pressuposto implica na ausência total de colinearidade, ou seja, não há dependência linear entre estas duas variáveis.

As outras variáveis elencadas estão em dois grande grupos: Serviços Públicos e Infraestrutura. As variáveis inerentes aos serviços públicos podem ser definidas em função da disponibilidade de sistema de coleta de esgoto, rede de iluminação pública, rede elétrica domiciliar, rede de telefone convencional, rede de abastecimento d'água e sistema de coleta de lixo. As variáveis inerentes à infraestrutura correspondem à existência de pavimento na via urbana, a hierarquia do sistema viário (local, coletora, principal) e às condições de ocupação do espaço urbano (ordenado/desordenado)

Cada variável explicativa acima mencionada é considerada de forma dicotômica, assumindo valores pela presença ou ausência de sua propriedade caracterizadora, constituindo uma matriz com a seguinte estrutura:

tr	esg	tel	ilu	agu	lix	lludom	ord	des	pav	loc	col	pri	norte	leste	V0
1n	n	n	n	s	n	n	n	s	n	s	n	n	Xxx,x	Xxx,x	87,28
2n	s	n	n	n	n	n	s	s	n	s	n	n	Xxx,x	Xxx,x	77,01

4 CONCLUSÃO

Os modelos de avaliação do solo urbano são elaborados a partir da identificação de regiões homogêneas, procurando-se utilizar modelos inferenciais, onde as variáveis explicativas e os parâmetros estimados relacionam-se funcionalmente na busca da melhor superfície estimada.

Na modelagem digital podemos utilizar a posição geodésica como variável explicativa da amostra, podendo apresentar-se como uma ferramenta auxiliar de análise da tendência de comportamento na direção leste-oeste e/ou norte-sul.

Os modelos digitais podem possibilitar ainda uma série de procedimentos de análises, como por exemplo a geração de mapas derivados como o de curvas de nível, as quais são definidas pela conexão entre pontos da superfície com o mesmo valor unitário do solo urbano, ou ainda pela possibilidade de simular o comportamento da superfície a partir de mudanças nos registros das variáveis que definem o valor..

5 REFERÊNCIAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, **NBR 5676 / 89 – Norma Brasileira para Avaliação de Imóveis Urbanos**
- Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, **NBR 13.133 / 94 – Norma Brasileira para Execução de Levantamento Topográfico**
- Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, **NBR 14.166 / 98 – Norma Brasileira de Rede de Referência Cadastral Municipal**
- DANTAS, Rubens Alves. **Engenharia de Avaliações. Uma Introdução à Metodologia Científica**, Ed. Pini, SP, 1998
- GEMAEL, Camil. **Introdução ao Ajustamento de Observações**, Aplicações Geodésicas - Curitiba, UFPR, 1994
- CORDEIRO, Gauss Moutinho. **Modelos Lineares Generalizados**, livro texto do VI Simpósio Nacional de Probabilidade e Estatística (SINAPE), UNICAMP, Campinas, SP, 1986.
- ROBINSON, Arthur H., MORRISON, Joel L., MUEHRCKE, Phillip C., KIMERLING, Jon., GUPTILL, Stephen C.. **Elements of Cartography**, John Wiley & Sons, Inc.
- SILVA, Tarcísio F. **Um Conceito de Cadastro Metropolitano**, Dissertação de Mestrado, 1979
- Burrough, P.A. **Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment**, Nova York, Estados Unidos, Oxford University Press, 194. 1986
- PHILLIPS, Jürgen. **Os Dez Mandamentos para um Cadastro Moderno de Bens Imobiliários**, 2^o. COBRAC.
- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE **SPRING – Ajuda on line** [on line] www.dpi.inpe.br/spring/usuario/esquema.htm. 2000

DEFINIÇÃO DE SISTEMAS DE REFERÊNCIA NO CONTROLE DE QUALIDADE DE EDIFICAÇÕES

Prof.^a. Dra. Andréa de Seixas¹
Prof. Dr. Tarcísio Ferreira Silva²
Prof.^a. Dra. Verônica Costa Romão³
Mestrando Eng. Fernando Botelho⁴

- 1 Universidade Federal Rural de Pernambuco – aseixas@gmx.net
- 2 Universidade Federal de Pernambuco – tarcisio@yahoo.de
- 3 Universidade Federal de Pernambuco – vcosta@ufpe.br
- 4 Universidade Federal de Pernambuco – fbotelho@unicap.br

RESUMO

Para a realização do controle de qualidade é necessária a definição de sistemas de referência (sistemas de coordenadas), a qual dependerá da geometria do objeto e do objetivo a ser alcançado. O objeto em questão é normalmente dividido em partes, as quais estarão definidas em diferentes sistemas de coordenadas interligadas entre si, p.e., quando todos os pontos discretizadores do objeto não poderem ser medidas de uma mesma estação e referenciadas a um único sistema de Referência.

Dois objetivos básicos distinguem-se na área de controle de qualidade: Primeiramente a observação de mudanças de forma e segundo a comprovação de formas geométricas de um objeto.

As medidas geométricas do objeto de prova, no presente caso as edificações, serão calculadas a partir de pontos objeto discretizadores de partes do mesmo. Para a determinação destes pontos existem diferentes métodos de medição polar à base de teodolitos, empregados no controle de qualidade de edificações.

Palavras-chave: Sistema de Referência, Controle de qualidade, sistema de medição polar à base de teodolitos, sinalização passiva e ativa, método polar, interseção a vante, teodolito apontador e identificador, linhas de grade

ABSTRACT

For the realization of quality control is necessary to know the definition of the systems which depends on the geometry of the object and the objective to be reached. The object in question is normally divided in parts in which will be defined in different coordinate systems which are tied together. Example – When all the points of the object that has been described can not be measured from the same station, the points will be referred to the reference system.

Two basic objects will be distinguished in the area of quality control. First: The change in observation of forms; Second: The comparison of geometric forms of an object.

The geometric measures of the object being tested will be calculated at the beginning of the descriptive points. To determine this points exists different methods of measurements. In this context the methods of Polar measurements will be given priority using theodolites which are employed in the quality control of the edification.

Keywords: Reference systems, quality control, theodolite polar measurement systems, active and passive signals, polar methods, forward intersections, pointing theodolite, video theodolite

1. INTRODUÇÃO

Dois objetivos básicos distinguem-se na área de controle de qualidade: primeiramente a observação de mudanças de forma e segundo a comprovação de formas geométricas de um objeto (análise de formas) [de SEIXAS, 2001].

Eventuais descontinuidades deverão ser detectadas ainda durante a produção, de forma que através de correções apropriadas, nas instalações de montagem, possa-se fornecer a edificação com a mesma qualidade prevista. Para isto, necessita-se de uma permanente observação na construção da mesma. Isto é, uma permanente observação das máquinas, das instalações ou aparelhos empregados para a produção. Sendo a edificação finalizado passará então a mesma ao controle de qualidade. Será então realizado o controle geométrico do objeto de prova. Serão determinados: a forma, o tamanho e eventualmente a posição do chamado objeto de prova ou edificação, comparando-os, em seguida, com parâmetros exigidos e anteriormente dados.

As medidas geométricas do objeto de prova serão calculadas a partir de pontos objeto discretizadores de partes do mesmo.

Para a determinação destes pontos existem diferentes métodos de medição. No contexto deste trabalho serão abordados preferencialmente os métodos de medição polar à base de teodolitos, empregados no controle de qualidade de edificações.

Para a realização do controle de qualidade é necessária a definição de sistemas de referência (sistemas de coordenadas), a qual dependerá da geometria do objeto e do objetivo a ser alcançado. O objeto em questão é normalmente dividido em partes, as quais estarão definidas em diferentes sistemas de coordenadas (sistemas de coordenadas do aparelho) interligadas entre si, p.e. quando todos os pontos discretizadores do objeto não poderem ser medidos de uma mesma estação, e referenciados a um único sistema de referência (sistema de coordenadas superior). Este Sistema de Referência de Medição no contexto do cadastro imobiliário brasileiro [CARENIRO, A.F., 1999].deve atender ao georeferenciamento previsto na lei 10267 e norma 14166 [ROMÃO, 2002].

2. SISTEMAS DE COORDENADAS DO APARELHO E SISTEMA DE COORDENADAS SUPERIOR

Em geral a determinação espacial de um objeto é realizada de vários pontos de estação, ocupados pelos instrumentos. Um apropriado sistema de coordenadas do objeto [de Seixas, 2001] será empregado, caso o objeto tenha uma forma geométrica típica (cubo, esfera,...). Normalmente são distinguidos entre si os seguintes sistemas de coordenadas:

- (x, y, z) – Sistema de coordenadas do aparelho
- (X, Y, Z) – Sistema de coordenadas superior
- Sistemas de coordenadas do objeto

As definições e transformações entre os diferentes sistemas de coordenadas serão em seguida descritas.

2.1. SISTEMAS DE COORDENADAS DO APARELHO

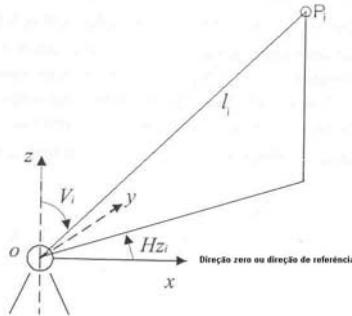
As coordenadas tridimensionais x_i , y_i , z_i de um ponto objeto P_i podem ser determinadas, sem uma especial materialização do alvo, através de medições polares (p.e. com um medidor taqueométrico) ou através da interseção a vante (p.e. com um sistema de medição polar à base de teodolitos). Um sistema de medição taqueométrico realiza um sistema de coordenadas esféricas (FIGURA 01).

O vetor de posição é definido da seguinte forma

$$\begin{pmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \end{pmatrix} = l_i \cdot \begin{pmatrix} \text{sen } V_i \cos H z_i \\ \text{sen } V_i \text{ sen } H z_i \\ \cos V_i \end{pmatrix} \quad (01)$$

Com HZ_i : ângulo horizontal, V_i : ângulo zenital e l_i : distância espacial.

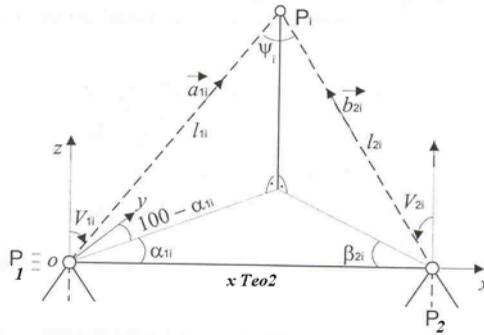
FIGURA 01 - DETERMINAÇÃO DAS COORDENADAS DE UM PONTO ATRAVÉS DA MEDIÇÃO POLAR



Quando o método da triangulação for empregado (FIGURA 02), então o vetor de posição será determinado através da interseção a vante. O sistema de coordenadas do aparelho é neste caso dado a partir da posição dos teodolitos. A origem O pode p.e. estar localizada no ponto interseção dos eixos: vertical, secundário e de colimação do teodolito $P_1 = (0,0,0)$. O eixo x interceptará o eixo vertical do teodolito $P_2 = (x_{Teo2}, 0, z_{Teo2})$. Na FIGURA 02 foi simplificada considerando que as alturas dos instrumentos são iguais. O eixo z coincidirá com o eixo vertical do teodolito P_1 (FIGURA 02), o eixo y será perpendicular ao plano xz e interceptará este em P_1 . Um sistema de aparelho deste tipo trabalha no módulo chamado master-slave. O instrumento – master (o teodolito P_1) projeta p.e. um ponto à laser sobre o objeto, e o instrumento – slave (o teodolito P_2) mede o ponto alvo do teodolito P_1 .

Como medidas de entrada para o cálculo da interseção a vante são dados os ângulos horizontais α_{1i} e β_{2i} , como também os ângulos zenitais V_{1i} e V_{2i} . A interseção a vante espacial poderá ser solucionada através da interseção de duas retas [STAIGER, 1988], aonde as coordenadas cartesianas (x_i, y_i, z_i) do ponto objeto P_i são encontradas como elemento de saída no sistema de coordenadas do aparelho.

FIGURA 02 - SOLUÇÃO TRIANGULAR DA TERMINAÇÃO DAS COORDENADAS X, Y, Z ATRAVÉS DA INTERSEÇÃO A VANTE



Os elementos de observação serão determinados como dois vetores espaciais no escolhido sistema de coordenadas do aparelho (FIGURA 02), os vetores diretores

unitários \vec{a}_{1i} , \vec{b}_{2i}

$$\vec{a}_{1i} = \begin{bmatrix} a_{x_{1i}} \\ a_{y_{1i}} \\ a_{z_{1i}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{sen } V_{1i} \cos \alpha_{1i} \\ \text{sen } V_{1i} \sin \alpha_{1i} \\ \cos V_{1i} \end{bmatrix}$$

$$\vec{b}_{2i} = \begin{bmatrix} b_{x_{2i}} \\ b_{y_{2i}} \\ b_{z_{2i}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{sen } V_{2i} \cos \beta_{2i} \\ \text{sen } V_{2i} \sin \beta_{2i} \\ \cos V_{2i} \end{bmatrix}$$

A relevância deste método é que as componentes, duas planimétricas e uma altimétrica, de um ponto objeto com este emprego vetorial são determinadas duplamente. Por causa dos irreparáveis erros de observação acidentais, as linhas imaginárias de colimação não se interceptam, mas estão extremamente bem próximas à região do ponto objeto observado.

Como ponto objeto mais provável será suposto aquele ponto, o qual divide a menor distância d entre as duas retas.

As coordenadas deste ponto médio da menor distância, deixam-se calcular com os respectivos valores de comprimento espacial

$$\begin{pmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{l_{1i}a_{x_{1i}} + x_{Teo2} + l_{2i}b_{x_{2i}}}{2} \\ \frac{l_{1i}a_{y_{1i}} + l_{2i}b_{y_{2i}}}{2} \\ \frac{l_{1i}a_{z_{1i}} + z_{Teo2} + l_{2i}b_{z_{2i}}}{2} \end{pmatrix} \quad (02)$$

Transformações, como apresentadas p.e. em [STAIGER, 1988], conduzem-nos para valores desses comprimentos espaciais:

$$l_{1i} = \frac{x_{Teo2} \cdot (a_{x_{1i}} - b_{x_{2i}} \cdot \cos \psi_i) + z_{Teo2} \cdot (a_{z_{1i}} - b_{z_{2i}} \cdot \cos \psi_i)}{\left| \begin{matrix} \rightarrow & \rightarrow \\ a_{1i} & b_{2i} \end{matrix} \right|}$$

$$l_{2i} = \frac{x_{Teo2} \cdot (a_{x_{1i}} \cdot \cos \psi_i - b_{x_{2i}}) + z_{Teo2} \cdot (a_{z_{1i}} \cdot \cos \psi_i - b_{z_{2i}})}{\left| \begin{matrix} \rightarrow & \rightarrow \\ a_{1i} & b_{2i} \end{matrix} \right|^2}$$

sendo

$$\psi_i = \arcsen \left| \begin{matrix} \rightarrow & \rightarrow \\ a_{1i} & b_{2i} \end{matrix} \right|$$

2.2. SISTEMAS DE COORDENADAS SUPERIOR

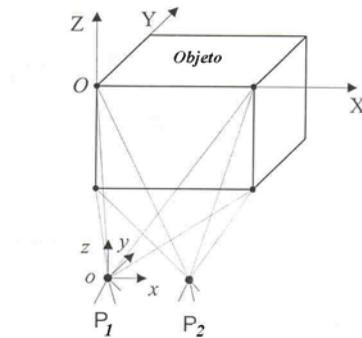
Caso seja necessário o levantamento do objeto a partir de vários sistemas de coordenadas de aparelho, então deve ser definido um sistema de coordenadas cartesiano superior (X, Y, Z).

Os pontos objeto poderão ser conduzidos neste sistema único através da transformação de Helmert.

2.3 SISTEMAS DE COORDENADAS DO OBJETO - SISTEMAS DE COORDENADAS DO APARELHO

Se a forma do objeto a ser estudada é pré-conhecida, então será definido um sistema de coordenadas do objeto, o qual apresentará uma forte ligação geométrica com o mesmo, de modo que se simplificará a interpretação dos resultados, quando p.e. o objeto investigado tem a forma de um cubo, arranja-se o mesmo a um sistema de coordenadas cartesianas (FIGURA 03).

FIGURA 03 - SISTEMA DE COORDENADAS CARTESIANAS



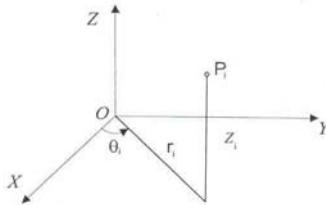
Tendo o objeto, por outro lado a forma de um cilindro, o qual é simétrico ao eixo z , então o sistema implícito no caso anterior, indicado pela equação (05), deverá ser substituído, por um sistema de coordenadas cilíndricas, indicado pela equação (06) (FIGURA 04):

$$\begin{pmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} r_i \cos \theta_i \\ r_i \sin \theta_i \\ Z_i \end{pmatrix} \quad (05)$$

$$\begin{pmatrix} r_i \\ \theta_i \\ Z_i \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sqrt{X_i^2 + Y_i^2} \\ A \tan \frac{Y_i}{X_i} \\ Z_i \end{pmatrix} \quad (06)$$

$X_i \neq 0$, $-\pi < \theta < \pi$.

FIGURA 04 - SISTEMA DE COORDENADAS CILÍNDRICAS



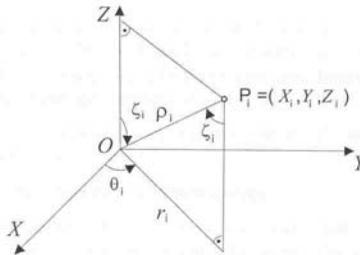
Caso o objeto tenha a forma de uma esfera, então se usa preferencialmente o sistema de coordenadas esféricas (FIGURA 05). Veja as equações (07) e (08).

$$\begin{pmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \rho_i \text{ sen } \zeta_i \text{ cos } \theta_i \\ \rho_i \text{ sen } \zeta_i \text{ sen } \theta_i \\ \rho_i \text{ cos } \zeta_i \end{pmatrix} \quad (07)$$

$$\begin{pmatrix} \rho_i \\ \theta_i \\ \zeta_i \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sqrt{X_i^2 + Y_i^2 + Z_i^2} \\ A \tan \frac{Y_i}{X_i} \\ \arccos \frac{Z_i}{\rho_i} \end{pmatrix} \quad (08)$$

Com $x_i \neq 0$, $\rho_i \neq 0$, $0 \leq \zeta_i \leq \pi$ e $-\pi < \theta_i < \pi$.

FIGURA 05 - SISTEMA DE COORDENADAS ESFÉRICAS



O sistema de coordenadas do objeto e os sistemas de coordenadas do aparelho, deixam-se através de pontos idênticos serem interligados entre si. Os pontos objeto serão calculados em um ou em outro sistema através da transformação de Helmert, como indicado no item 2.2.

Em seguida, serão apresentados os métodos de medição polar à base de teodolitos, utilizados para a determinação dos pontos objeto no controle de qualidade.

3. CONTROLE GEOMÉTRICO COM SISTEMAS DE MEDIÇÃO POLAR À BASE DE TEODOLITOS

Teodolitos podem ser utilizados como um sistema de determinação de coordenadas baseado na transformação direta de ângulos em coordenadas x , y e z . Um sistema de medição polar à base de teodolitos é composto por um ou mais teodolitos como instrumento básico (cf. item 2.1).

O desenvolvimento rápido das técnicas de medição na área da geodésia aplicada à engenharia, possibilita a detecção tridimensional e a reconstrução tridimensional de objetos com ou sem pontos sinalizados artificialmente.

3.1. MEDIDAS DE INSTALAÇÃO DO TEODOLITO

O modelo matemático definido pela transformação de Helmert pode ser buscado para a programação off-line [KAHMEN, 1997] do teodolito. Na programação off-line são tomadas às coordenadas dos pontos a serem visualizados de um modelo tridimensional teórico.

Estas coordenadas serão então transformadas em coordenadas polares segundo os eixos de movimento do instrumento. Sendo depois da medição, re-transformadas para o sistema de coordenadas em questão.

3.2. DETERMINAÇÃO DE OBJETOS SINALIZADOS COM MARCAS ARTIFICIAIS

O objeto é abstraído por um número limitado de pontos objeto. Normalmente estes pontos objeto são materializados com marcas de alvo artificiais. Suas posições são determinadas em uma medição denominada medição zero. A vantagem neste método é que durante o monitoramento serão percorridos sempre as mesmas marcas de alvo. As desvantagens em contra-partida são:

- o custo e o tempo dispendioso, já que o objeto a ser investigado deverá ser manualmente sinalizado,
- os pontos marcados poderão desaparecer, p.e. durante as medições de objetos, os quais requerem um longo tempo de monitoramento,
- não é empregável em lugares perigosos e de difícil acesso.

Para o emprego deste método de medição, no caso de controle de deformação de edificações, não é exigido o conhecimento da geometria do objeto a ser investigado [WIESER, 1995]. Serão simplesmente comparadas as mudanças de posição dos pontos nas diferentes épocas de medição.

3.3. DETERMINAÇÃO DE OBJETOS NÃO SINALIZADOS

O sistema de medição polar à base de teodolitos é composto, neste caso, por um teodolito apontador e um teodolito identificador, podendo, deste modo, serem renunciadas as marcas de alvo artificiais.

Defini-se um teodolito apontador, quando um teodolito projeta marcas de alvo ao longo do seu eixo de colimação. O teodolito identificador, por sua vez, localizará e medirá os alvos projetados.

Um sistema de medição deste tipo adequa-se principalmente para a verificação da superfície do objeto. Quando a forma aproximada do objeto é conhecida, poderá ser definida sobre a superfície, pontos objeto, os quais discretizam o objeto adequadamente.

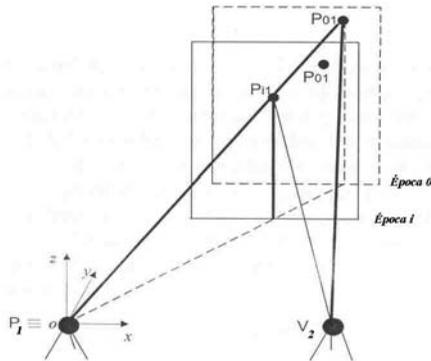
Para estes pontos objeto, deixam-se calcular as coordenadas com respeito a um sistema de coordenadas do objeto (cf. item 2.3). Estas coordenadas deixam ser transformadas através de pontos idênticos (cf. item 2.2) no sistema de coordenadas do teodolito apontador (cf. item 2.1). O teodolito apontador utiliza então estas coordenadas para procurar os pontos objeto sobre a superfície. O teodolito identificador deverá medir o ponto objeto projetado. As direções medidas sobre os pontos sinalizados e procurados possibilitam os cálculos dos pontos objeto (cf. item 2.1).

O processo de medição, torna-se mais complicado quando o sistema de medição é empregado para medições de deformação [de SEIXAS, 2001]. Primeiramente é feita uma medição zero e repete-se o processo de medição anteriormente descrito,

para a verificação da superfície do objeto. As coordenadas determinadas na medição zero servirão agora também como informação de comando para as medições de verificação das épocas de medição sucessivas.

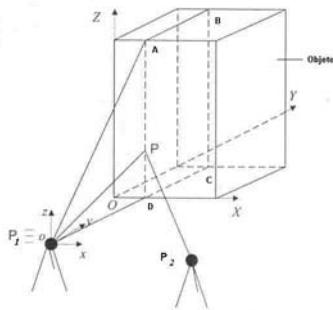
Caso haja procedimentos de deformação, existirá agora sobre as medições sucessivas o problema que os pontos sinalizados com o teodolito apontador não serão mais os pontos objeto iniciais (FIGURA 06). as deformações se deixam ser dificilmente interpretadas.

FIGURA 06 - VISADA DO PONTO OBJETO APÓS A MEDIÇÃO ZERO



Um contorno ao problema pode ser estabelecido, quando as deformações são observadas sobre uma superfície conhecida anteriormente (FIGURA 07). Estas podem, p.e. ser planos num sistema de coordenadas cartesianas, as quais são paralelas aos planos de coordenadas.

FIGURA 07 - DEFORMAÇÕES AO LONGO DE SUPERFÍCIES ANTERIORMENTE DADAS

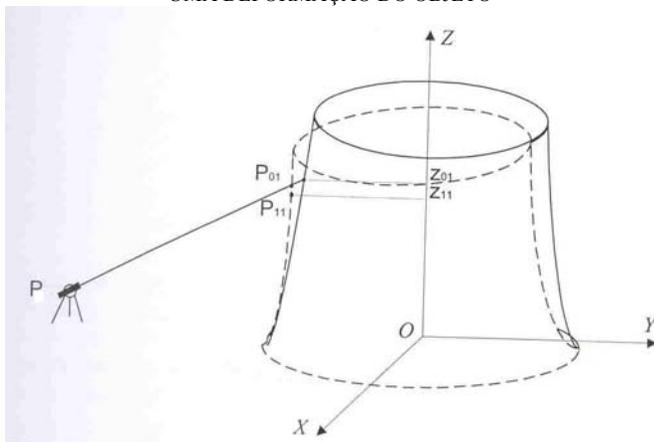


Em todo caso será observado e medido a mudança do objeto ao longo da curva de intersecção do plano ABCD (FIGURA 07) com a superfície do objeto. As

medições realizar-se-ão, quando o teodolito apontador for instalado de modo que o eixo vertical e o eixo de visada (eixo do laser) se encontrem neste plano de intersecção. O ponto alvo à laser projetado está então neste plano, independentemente da forma do objeto observado. Neste caso existe desvantagem, pois o método é pouco flexível, já que o teodolito apontador deverá ser novamente instalado para cada novo plano escolhido.

Uma outra desvantagem é que as deformações não deverão ser observadas ao longo de uma linha determinada ou livremente escolhida (FIGURA 08), p.e., ao longo da linha de visada do teodolito, o qual foi anteriormente fornecido através da medição zero ou ao longo de um raio previamente conhecido.

FIGURA 08 - VISADA DE UM PONTO OBJETO DEFINIDO NA MEDIÇÃO ZERO DEPOIS DE UMA DEFORMAÇÃO DO OBJETO



Estas últimas desvantagens deixam-se eliminar, quando é possível serem observadas deformações ao longo de “linhas de grade” de um sistema de coordenadas anteriormente dado [de SEIXAS, 2001]. “Linhas de grade” são definidas, se duas coordenadas do sistema de coordenadas tridimensional são mantidas constantes.

4. CONCLUSÃO

A exigência do controle de qualidade, principalmente na indústria de construção e mecânica, acelera o desenvolvimento de novos sistemas de medição tridimensionais e novos métodos de medição. Estes métodos permitem a identificação destes objetos e o contínuo monitoramento de suas formas.

Sistemas de medição polar à base de teodolitos, p.e., vem sendo utilizados em várias aplicações industriais, como também no controle de qualidade de edificações.

O monitoramento e o controle geométrico do objeto de prova só será possível, quando os sistemas de referência forem devidamente definidos. De forma que os mesmos pontos observados possam ser estudados num mesmo sistema de referência, devidamente otimizado, ao longo do tempo.

5. REFERÊNCIAS

CARNEIRO, A.F.T. **Uma proposta de reforma cadastral visando a vinculação entre cadastro e registro de imóveis.** Florianópolis, SC, 2000. 175p. Tese de doutorado, Engenharia de Produção – UFSC.

KAHMEN, H. **Vermessungskunde**, 19. A, 1997

de SEIXAS, A. **Objektrekonstruktion mittels Gitterlinien-verfahren.** Austria, 2001. 128f. Tese (Doutorado em Geodésia aplicada à engenharia). Instituto de geofísica e geodésia aplicada. Departamento de geodésia aplicada à engenharia. Universidade Técnica de Viena.

ROMÃO, V. M. C. et al. **A Lei 10.267 e a Norma 14.166: Procedimentos para o georeferenciamento.** In: Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário, 10. 2002, Florianópolis, SC. 1 CD-ROM.

STAIGER, R. **Theoretische Untersuchungen zum Einsatz von Industriemesssystemen**, Muenchen, Reihe C Heft Nr. 340, Dissertation, 1988.

WIESER, A. **İngenieurgeodaetischen Ueberwachungsmessungen mit Videotheodoliten**, Viena 1995, Diplomarbeit – TU

IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA TOPOGRÁFICO LOCAL NO CENTRO POLITÉCNICO DE ACORDO COM A NBR 14166 – REDE DE REFERÊNCIA CADASTRAL MUNICIPAL - PROCEDIMENTO

Maria Madalena Santos da Silva¹
Maria Aparecida Zehnpfennig Zanetti²
Luis Augusto Koenig Veiga³
Cláudia Pereira Krueger⁴
Silvio Rogério Correia de Freitas⁵

1 Universidade Federal do Paraná - madalena@geoc.ufpr.br

2 Universidade Federal do Paraná - mazz@geoc.ufpr.br

3 Universidade Federal do Paraná - kngveiga@geoc.ufpr.br

4 Universidade Federal do Paraná – ckrueger@cce.ufpr.br

5 Universidade Federal do Paraná – sfreitas@cce.ufpr.br

RESUMO

A transformação de coordenadas de um sistema local de referência para um sistema geodésico global é usual atualmente. Os sistemas locais associados com as estações totais e utilizados nos levantamentos aplicados à Engenharia, frequentemente necessitam de integração com sistemas de referência global, realizados a partir do GPS (Global Positioning System). O sistema local de referência é utilizado na Topografia, que considera uma porção limitada da superfície como plana. Ele se torna único para todo levantamento no denominado plano topográfico local. Através de sistemas deste tipo, são feitos posicionamentos topográficos, locação de pequenas obras, determinação de limites, cadastro, medida de áreas, etc.. Os projetos e levantamentos cadastrais no Brasil, devem seguir as especificações da NBR 14166 – Rede de Referência Cadastral Municipal. O procedimento que define o Sistema de Coordenadas Topográfico Local, utiliza dois tipos de coordenadas: as geodésicas (referidas atualmente ao SAD-69); e coordenadas cartesianas retangulares. Segundo a NBR 14166, a transformação de coordenadas geodésicas dos marcos geodésicos em coordenadas plano-retangulares no Sistema Topográfico Local deve ser feita aplicando-se o formulário segundo Puissant – Problema Geodésico Inverso. Este trabalho propõe a implantação de um Sistema Topográfico Local no Centro Politécnico, de acordo com a NBR 14166, incluindo: a escolha da origem do sistema; a determinação de coordenadas de marcos geodésicos, utilizando GPS; a transformação de coordenadas geodésicas em coordenadas no Sistema Topográfico

Local aplicando o formulário segundo Puissant; análise de resultados e comparações.

Palavras-chave: Sistema Topográfico Local; NBR14166-Procedimento, Análises

ABSTRACT

Nowadays, coordinate transformation from a local reference system for a global geodesic system is usual. The local reference systems associated with total stations are extensively used for Engineering surveying. Frequently they need integration with global reference systems, realized with GPS (Global Positioning System). The local system of reference is used in the Topography, which considers a limited portion of the Earth surface as a plane. This local system is unique for every survey in denominated topographical plane. Systems like this are used in many topographical surveying applied for small areas, determination of limits, register and location, etc.. The projects for cadastral surveying in Brazil should follow the standards of NBR 14166 - Municipal Cadastral Reference Network. The procedures that define the Topographical Coordinate System used two types of coordinates: Geodetic (referred to the SAD69 by law); and Rectangular Cartesian ones. According to NBR 14166, the transformation of geodetic coordinates to plan-rectangular coordinates in the Local Topographical System should be made using Puissant - Inverse Geodesic Problem - formulation. This work explains the activities associated with the implantation of a Local Topographical System in the Centro Politécnico, in agreement with NBR 14166, including: the choice of the origin of the system; the determination of geodetic coordinates of marks using GPS; the transformation from geodetic coordinates for the Local Topographical System applying the Puissant's formulation; and the analysis of results and comparisons.

Keywords: Local Topographical System; NBR14166-Standards; Survey Analysis

1. SISTEMA DE COORDENADAS TOPOGRÁFICO LOCAL

O Sistema Topográfico Local (STL) é utilizado na estruturação da Rede de Referência Cadastral Municipal (cujo procedimento é descrito na NBR 14166) sendo sua implantação e manutenção atribuição e responsabilidade da administração municipal através de um órgão gestor.

Em Topografia utiliza-se o Sistema de Coordenadas Topográfico Local, definido pela NBR 14166 – Rede de Referência Cadastral Municipal, por: “Sistema de representação, em planta, das posições relativas de pontos de um levantamento

topográfico com origem em um ponto de coordenadas geodésicas conhecidas, onde todos os ângulos e distâncias de sua determinação são representados em verdadeira grandeza sobre o plano tangente à superfície de referência (elipsóide de referência) do sistema geodésico adotado, na origem do sistema, no pressuposto de que haja, na área de abrangência do sistema, a coincidência da superfície de referência, com a do plano tangente, sem que os erros decorrentes da abstração da curvatura terrestre ultrapassem os erros inerentes às operações topográficas de determinação dos pontos do levantamento.”

O sistema de coordenadas plano-retangulares tem a mesma origem do Sistema Topográfico Local (STL), sendo esta um ponto de coordenadas geodésicas conhecidas. Neste sistema os eixos X e Y estão no plano do horizonte local, tangente ao elipsóide de referência, o eixo Y coincide com a meridiana (linha norte-sul) geográfica. O eixo Y é orientado positivamente para o norte geográfico e o eixo X coincide com a linha leste-oeste orientado positivamente para leste.

Os pontos medidos no terreno são definidos por coordenadas cartesianas plano-retangulares (x_i, y_i).

A origem do Sistema Topográfico Local deve estar posicionada de modo que nenhuma coordenada plano-retangular, isenta do seu termo constante, tenha valor superior a 50 km (figura 01).

A fim de se evitar valores negativos para estas coordenadas, são adicionadas as constantes 150.000 m a X_i e 250.000 m a Y_i , com isso todas as abscissas iniciarão com o algarismo 1 e as ordenadas com o algarismo 2.

O plano do horizonte local é elevado à altitude ortométrica média, da área de abrangência do sistema, aplicando-se às coordenadas plano-retangulares de todos os pontos levantados geodésica e topograficamente representados no STL, o fator de elevação (c), que eleva este plano ao nível médio do terreno da área de abrangência do sistema caracterizando o Sistema Topográfico Local.

$$c = (R_m + h_t) / R_m \quad (01)$$

sendo

c : o fator de elevação;

h_t : a altitude média do terreno em metros;

R_m : o raio médio terrestre, dado por

$$R_m = \sqrt{MN} \quad (02)$$

onde

M é o raio de curvatura da seção meridiana,

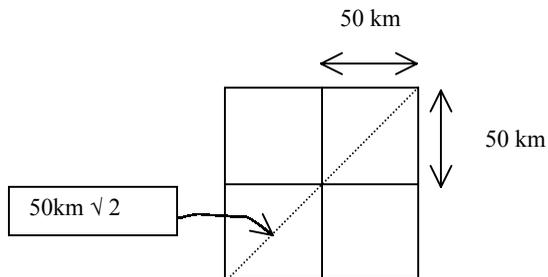
$$M = a(1 - e^2) / (1 - e^2 \sin^2 \varphi)^{3/2} \quad (03)$$

e N o raio de curvatura da seção 1° vertical

$$N = a / (1 - e^2 \sin^2 \varphi)^{1/2} \quad (04)$$

sendo a o semi-eixo maior do elipsóide de referência e e a primeira excentricidade do elipsóide de referência.

FIGURA 01 - DISTÂNCIA MÁXIMA DO SISTEMA TOPOGRÁFICO LOCAL À ORIGEM



A área de abrangência do sistema deve ser reduzida para desníveis superiores a 150 m.

As coordenadas plano-retangulares (X, Y) dos marcos geodésicos de apoio imediato no STL são obtidas a partir de suas coordenadas geodésicas (φ_1, λ_1) e das coordenadas da origem do sistema (φ_0, λ_0), através da solução do problema inverso do transporte de coordenadas geodésicas onde calcula-se a distância e o azimute entre eles (d_{01}, A_{01}).

Neste sistema as distâncias calculadas não precisam ser ajustadas pelo fator de escala (do sistema UTM), a elas devem ser aplicadas as correções devidas aos erros instrumentais, variações atmosféricas e redução das distâncias inclinadas;

As correções angulares não são utilizadas, facilitando o uso das coordenadas.

2. CONVERGÊNCIA MERIDIANA

Convergência meridiana é o ângulo formado entre a linha norte-sul verdadeira e a linha norte-sul do reticulado, isto porque as linhas que representam os meridianos convergem para os pólos e não são paralelas às retas das ordenadas.

No memorial descritivo dos limites de uma propriedade, para fins de registro público, devem constar os rumos referidos ao Norte geográfico, por isso deve-se calcular a convergência meridiana (que possui valores significativos superiores à precisão nominal das medidas angulares) para transformação dos azimutes planos dos lados poligonais em azimutes geográficos

A convergência meridiana é nula para pontos no meridiano da origem do sistema.

3. FÓRMULAS DE TRANSFORMAÇÃO DE COORDENADAS GEODÉSICAS EM COORDENADAS PLANO-RETANGULARES NO SISTEMA TOPOGRÁFICO LOCAL

A seguir é apresentado o formulário para transformação de coordenadas geodésicas em coordenadas plano-retangulares no Sistema Topográfico Local, conforme a NBR14166 – Rede de Referência Cadastral Municipal – Procedimento.

Na aplicação das fórmulas considera-se a latitude (φ) negativa no hemisfério sul e a longitude (λ) crescendo positivamente para oeste. Os coeficientes C e D são negativos no hemisfério sul.

$$X_p = 150.000 + x_p \quad (05)$$

$$Y_p = 250.000 + y_p \quad (06)$$

$$x_p = -\Delta\lambda_1 \cos\varphi_p N_p \text{ arc } 1'' \times c \quad (07)$$

$$y_p = 1/B \{ \Delta\varphi_1 + Cx_p^2 + D(\Delta\varphi_1)^2 + E(\Delta\varphi_1)x_p^2 + E Cx_p^4 \} \times c \quad (08)$$

$$\Delta\lambda'' = \lambda_p - \lambda_o \quad (09)$$

$$\Delta\varphi'' = \varphi_p - \varphi_o \quad (10)$$

$$\Delta\lambda_1 = \Delta\lambda'' [1 - 3,9173 \times 10^{-12} (\Delta\lambda'')^2] \quad (11)$$

$$\Delta\varphi_1 = \Delta\varphi'' [1 - 3,9173 \times 10^{-12} (\Delta\varphi'')^2] \quad (12)$$

$$B = 1 / (M_0 \text{ arc } 1'') \quad (13)$$

$$C = \tan\varphi_0 / (2 M_0 N_0 \text{ arc } 1'') \quad (14)$$

$$D = (3 e^2 \text{ sen}\varphi_0 \text{ cos}\varphi_0 \text{ arc } 1'') / [2 (1 - e^2 \text{ sen}^2\varphi_0)] \quad (15)$$

$$E = (1 + 3 \tan \varphi_0) / (6N_0^2) \quad (16)$$

$$c = (R_0 + h_t) / R_0 \quad (17)$$

$$R_0 = (M_0 + N_0)^{1/2} \quad (18)$$

$$M = a(1-e^2) / (1 - e^2 \sin^2 \varphi_0)^{3/2} \quad (19)$$

$$N = a / (1 - e^2 \sin^2 \varphi)^{1/2} \quad (20)$$

$$N_p = a / (1 - e^2 \sin^2 \varphi_p)^{1/2} \quad (21)$$

$$e = [(a^2 - b^2) / a^2]^{1/2} = [f(2-f)]^{1/2} \quad (22)$$

onde:

M_0 é o raio de curvatura da seção meridiana do elipsóide de referência em P_0 (origem do sistema);

N_0 é o raio de curvatura da seção normal ao plano meridiano do elipsóide de referência em P_0 ;

N_p é o raio de curvatura da seção normal ao plano meridiano do elipsóide de referência em P_1 ;

c é o fator de elevação;

a é o semi-eixo maior do elipsóide de referência;

b é o semi-eixo menor do elipsóide de referência;

e^2 é a primeira excentricidade do elipsóide de referência;

f é o achatamento do elipsóide de referência;

h é a altitude ortométrica média do terreno ou altitude do plano topográfico local.

3.1 FÓRMULAS PARA CÁLCULO DA CONVERGÊNCIA MERIDIANA NO SISTEMA TOPOGRÁFICO LOCAL

3.1.1 A partir das coordenadas geodésicas

$$\gamma_p = - [\Delta\lambda'' \sin \varphi_m \sec(\Delta\varphi/2) + F(\Delta\lambda'')^3] \quad (23)$$

onde:

$$\Delta\lambda'' = (\lambda_p - \lambda_0) \times 3600 \quad (24)$$

$$\Delta\varphi = \varphi_p - \varphi_0 \quad (25)$$

$$F = (\sin \varphi_m \cos \varphi_m \sin^2 1'') / 12 \quad (26)$$

sendo:

γ_p a convergência meridiana no ponto considerado;

φ_0 a latitude da origem do sistema;

φ_p a latitude do ponto geodésico de apoio imediato considerado;

λ_0 a longitude da origem do sistema;

λ_p a longitude do ponto geodésico de apoio imediato considerado;

φ_m é a latitude média entre o ponto geodésico de apoio imediato considerado (P) e a origem do sistema (O);

3.1.2 A partir das coordenadas plano-retangulares

$$\gamma''_p = (x/c)3,2380 \times 10^{-2} \tan(\varphi_0) + (y/c)8,9946 \times 10^{-6} \quad (27)$$

onde :

$$x = X - 150.000 \text{ m} \quad (45)$$

$$y = Y - 250.000 \text{ m} \quad (28)$$

$$c = 1 + 1,57 \times 10^{-7} h_t \quad (29)$$

sendo:

γ''_p a convergência meridiana no ponto considerado, em segundos sexagesimais;

(φ_0) a latitude da origem do sistema, em graus sexagesimais;

X é a abscissa do ponto considerado em metros;

Y é a ordenada do ponto considerado em metros;

x é a abscissa do ponto considerado isenta do seu termo constante;

y é a ordenada do ponto considerado isenta do seu termo constante;

c é o fator de elevação do plano topográfico ao nível médio do terreno para obtenção do plano topográfico local, em metros;

h_t é a altitude do plano topográfico local, em metros;

4. DETERMINAÇÃO DAS COORDENADAS GEODÉSICAS DAS ESTAÇÕES DA POLIGONAL UTILIZANDO GPS

Para a determinação das coordenadas geodésicas dos marcos de apoio geodésico imediato ao Sistema Topográfico Local foi utilizado o posicionamento com Sistema GPS-NAVSTAR, como preconiza a norma NBR 14.166. Para atender a precisão indicada na norma na seção 6.3.1 item 3, empregou-se o método de posicionamento relativo estático, com sessões de observação de aproximadamente 60 minutos, com no mínimo 5 satélites durante todo o rastreamento e taxa de aquisição de dados de 15 segundos. Este intervalo de aquisição foi assim definido, para serem integrados com

os dados da Estação PARA, pertencente a RBMC – Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo.

O método relativo estático utilizado, consiste na instalação de um receptor em um ponto de coordenadas geodésicas conhecidas e outro receptor no ponto que se deseja determinar. O tempo de rastreamento deve ser superior a 60 minutos e considerar sempre 5 satélites disponíveis e com índice de PDOP menor que 4 durante toda a sessão de rastreamento. A taxa de gravação dos dados pode ser de 15 ou 20 segundos. A precisão relativa deste método é da ordem do decímetro (KRUEGER, 1996).

Os equipamentos utilizados foram receptores GPS geodésicos com frequências L1 e L2. Para assegurar a melhor determinação das coordenadas foram observados detalhes importantes para o processamento dos dados adquiridos, como por exemplo, a altura da antena medida com instrumento de escala milimétrica e orientação da antena para o Norte (evitar o erro de centro de fase da antena).

5. IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA TOPOGRÁFICO LOCAL NO CENTRO POLITÉCNICO

A área escolhida para a implantação do STL foi o Campus III da Universidade Federal do Paraná, o Centro Politécnico.

Contamos com uma poligonal topográfica com 40 vértices, já implantada e levantada com uma estação total TC403L (precisão angular de 10”), perfazendo um perímetro de 3776,078 m. Todos os ângulos foram medidos em 3 séries completas (PD e PI) e o erro angular cometido foi de -38”. A precisão linear alcançada foi 1:19.664, sendo o erro em x igual a -0,1830 m e o erro em y -0,0478 m.

A estação escolhida como origem do Sistema Topográfico Local no Centro Politécnico, foi a estação RM01, cujas coordenadas geodésicas referidas ao SAD-69, obtidas por posicionamento GPS são:

$$\varphi = 25^{\circ} 26' 51,55491'' \text{ S}$$

$$\lambda = 49^{\circ} 13' 49,63195'' \text{ W}$$

Por definição do STL, para a estação RM01 tem-se para coordenadas plano-retangulares:

$$X = 150.000,00000 \text{ m}$$

$$Y = 250.000,00000 \text{ m}$$

A altitude média considerada é 913,124 m.

A partir dos dados levantados topograficamente, utilizando o software Posição (MANFRA, 2000), foram calculadas as coordenadas plano-retangulares ($X_{\text{Posição}}$, $Y_{\text{Posição}}$) das estações no STL (Tabela 1), considerando como origem a estação RM01, e ré para cálculo do azimute inicial a estação Relógio (REL).

Também foram determinadas por posicionamento GPS as coordenadas geodésicas de 7 estações que fazem parte da poligonal topográfica, e calculadas as

coordenadas plano-retangulares no STL (X_{Puissant} , Y_{Puissant}) através da aplicação do formulário de Puissant, programado em Excel.

A Tabela 2 apresenta as coordenadas geodésicas, latitude(ϕ) e longitude(λ) das estações levantadas, obtidas por posicionamento GPS e seus respectivos RMS (erro médio quadrático);

A Tabela 3 apresenta as coordenadas plano-retangulares no STL obtidas através do formulário de Puissant; as coordenadas plano-retangulares no STL obtidas através dos dados topográficos, utilizando o software Posição.

E na Tabela 4 encontram-se as diferenças (ΔX e ΔY) obtidas pela comparação dos dois métodos de obtenção de coordenadas.

TABELA 1 - COORDENADAS PLANO-RETANGULARES ($X_{\text{Posição}}$, $Y_{\text{Posição}}$) DAS ESTAÇÕES DA POLIGONAL NO STL

Estação	$X_{\text{Posição}}$ (m)	$Y_{\text{Posição}}$ (m)
RM01	150.000,0000	250.000,0000
P-35	149.592,8843	250.006,0204
P-36	149.610,2391	250.075,8644
P-37	149.636,2657	250.161,7376
P-38	149.657,7672	250.234,3126
P-39	149.685,5917	250.318,3255
P-40	149.778,5464	250.386,4942
P-41	149.871,6305	250.259,7946
REL	149.925,9576	250.159,9745

TABELA 02 – LATITUDES E LONGITUDES OBTIDAS POR POSICIONAMENTO GPS (SAD-69)

Estação	ϕ_{GPS}	λ_{GPS}	RMS (m)
RM01	-25°26'51,55548''	-49° 13'49,63230''	
P-35	-25°26'51,35742''	-49° 14'04,20193''	0,0083
P-36	-25°26'49,08868''	-49° 14'03,58026''	0,0156
P-37	-25°26'46,29817''	-49° 14'02,64926''	0,0166
P-38	-25°26'43,94010''	-49° 14'01,87798''	0,0172
P-39	-25°26'41,21008''	-49° 14'00,88133''	0,0090
P-40	-25°26'38,99567''	-49° 13'57,55427''	0,0043
P-41	-25°26'43,11338	-49° 13'54,22414''	0,0076
REL	-25°26'46,35698''	-49° 13'52,28165''	0,0055

TABELA 03 - COORDENADAS PLANO-RETANGULARES NO STL OBTIDAS ATRAVÉS DO FORMULÁRIO DE PUISSANT (X_{PUISSANT} , Y_{PUISSANT}) E COORDENADAS PLANO-RETANGULARES NO STL OBTIDAS ATRAVÉS DOS DADOS TOPOGRÁFICOS, UTILIZANDO O SOFTWARE POSIÇÃO ($X_{\text{POSIÇÃO}}$, $Y_{\text{POSIÇÃO}}$)

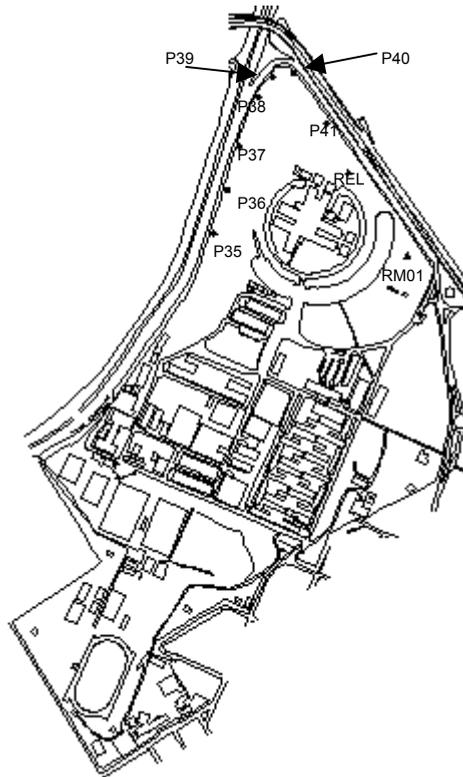
Estação	$X_{\text{PuiSSant}}(\text{m})$	$Y_{\text{PuiSSant}}(\text{m})$	$X_{\text{PosiÇÃO}}(\text{m})$	$Y_{\text{PosiÇÃO}}(\text{m})$
RM01	150.000,00000	250.000,00000	150.000,0000	250.000,0000
P-35	149.592,86581	250.006,07190	149.592,8843	250.006,0204
P-36	149.610,23533	250075,89659	149.610,2391	250.075,8644
P-37	149.636,24841	250.161,77980	149.636,2657	250.161,7376
P-38	149.657,79896	250.234,35381	149.657,7672	250.234,3126
P-39	149.685,64721	250.318,37528	149.685,5917	250.318,3255
P-40	149.778,61749	250.386,52919	149.778,5464	250.386,4942
P-41	149.871,67636	250.259,80121	149.871,6305	250.259,7946
REL	149.925,95763	250.159,97456	149.925,9576	250.159,9745

TABELA 04 - DIFERENÇAS (ΔX E ΔY) OBTIDAS PELA COMPARAÇÃO DOS DOIS MÉTODOS DE OBTENÇÃO DE COORDENADAS.

Estação	$\Delta X(\text{m})$	$\Delta Y(\text{m})$
RM01	0,00000	0,00000
P-35	0,01849	0,05150
P-36	0,00377	0,03219
P-37	0,01729	0,04220
P-38	0,03176	0,04121
P-39	0,05551	0,04978
P-40	0,06809	0,03499
P-41	0,04586	0,00661
REL	0,0000	0,00000

6. ÁREA DE ESTUDO

FIGURA 02 – MAPA DO CENTRO POLITÉCNICO



7. CONCLUSÕES

Observa-se que as diferenças entre as coordenadas obtidas através da poligonal topográfica ($X_{\text{Posição}}$, $Y_{\text{Posição}}$) e as obtidas através das coordenadas geodésicas transformadas em plano-retangulares por meio do formulário de Puissant (X_{Puissant} , Y_{Puissant}) são da ordem do centímetro.

As diferenças apresentadas no Quadro 03 entre os cálculos do formulário de Puissant e da poligonal topográfica, podem ser justificadas pelo método de obtenção das coordenadas geodésicas, que foram obtidas utilizando posicionamento GPS-

NAVSTAR, como recomendado pela Norma NBR 14.166, bem como dos erros obtidos na determinação das coordenadas topográficas pelo método de poligonação.

Sugere-se o estudo de outros formulários para transformação das coordenadas geodésicas em plano-retangulares.

8. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR14166**: Rede de Referência Cadastral Municipal – Procedimento. Rio de Janeiro. 1998, 23 p.

MANFRA & CIA LTDA. **Sistema de Automação Topográfica Posição**: versão 2000. Curitiba, PR, 2000. Conjunto de software: 1 CD-ROM e 1 manual.

KRUEGER, C. P. **Investigação sobre aplicações de alta precisão no âmbito marinho**. Curitiba, 1996. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas). Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas. Universidade Federal do Paraná.

METODOLOGIA PARA DETERMINAÇÃO DE SUBSIDÊNCIA DE SOLO NA REGIÃO METROPOLITANA DO RECIFE

Prof^a Dr. Verônica Maria Costa Romão¹
Prof. MSc. Adeildo Antão dos Santos²
Prof^a Dr. Andrea de Seixas³
Prof. Dr. Antônio Simões Silva⁴
Prof. Dr. Tarcísio Ferreira Silva⁵
Doutoranda Sylvana Melo dos Santos⁶

- 1 Universidade Federal de Pernambuco – vcosta@ufpe.br
- 2 Universidade Federal de Pernambuco – aasantos@ufpe.br
- 3 Universidade Federal de Pernambuco – aseixas@gmx.net
- 4 Universidade Federal de Viçosa – asimoes@ufv.br
- 5 Universidade Federal de Pernambuco – tarcisiofs@yahoo.de
- 6 Universidade Federal de Pernambuco – sylinsfran@bol.com.br

RESUMO

Com o rápido crescimento populacional na Região Metropolitana do Recife (RMR), o abastecimento d'água tem atendido de forma precária, tanto o setor residencial, como industrial e de serviços públicos, provocando uma crescente demanda na exploração dos recursos aquíferos, com cerca de 4000 poços construídos na RMR nos últimos anos. A possibilidade de ocorrência de subsidência de solo devido à super-exploração dos recursos hídricos, está sendo investigada por um grupo de pesquisadores da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) juntamente com o Instituto de Geodésia, da Universidade de Hannover, na Alemanha, e a Universidade Politécnica da Catalunha. Com base em experiências de projetos anteriores, é proposta a implantação de uma rede geodésica local para monitorar a área supostamente de maior ocorrência do fenômeno, onde observações GPS, híbridas com o nivelamento geométrico de precisão, serão conduzidas em diferentes épocas. Informações de perfis geológicos para simulação numérica através da técnica dos elementos finitos subsidiarão o estudo permitindo a definição de um prognóstico do possível avanço do processo de subsidência do solo.

Palavras-chave: Rede Geodésica de Monitoramento; GPS; Subsidência de Solo.

ABSTRACT

The rapid growth of population in the metropolitan region of Recife and the scarcity of rain in the last years have led to continuous shortages in water supply, for private as well as for public and industrial use. As a consequence, about 4000 wells have been established in the region during the last years. The uncontrolled, extensive ground water extraction probably has created subsidence along the coastal area. A research group from the Federal University of Pernambuco and the University of Hannover is now jointly investigating this process. The phenomenon of subsidence will be studied with combined GPS and leveling observations in the areas of highest risk. Based on experience from previous joint projects, a local GPS monitoring network will be established. Continuous monitoring, as well as repeated epoch measurements will be used to identify the current subsidence rate. Geological profiles will be included in numerical studies, based on finite elements, for a possible prediction of future subsidence processes.

Keywords: Monitoring Geodetic Network; GPS; Land Subsidence.

1. INTRODUÇÃO

A Região Metropolitana do Recife – RMR, com uma população de aproximadamente 3.300.000 habitantes, compreendendo uma área de cerca de 2.740 km² composta de 14 municípios, é abastecida pela Companhia Pernambucana de Saneamento com aproximadamente 12m³/s de água, que não corresponde à quantidade necessária para o abastecimento total da região (Cabral et al. 2000). Desde 1998, o número de poços perfurados na RMR para uso residencial, inclusive condomínios, hospitais e indústrias vem crescendo bastante, contando atualmente com aproximadamente 2.700 poços cadastrados; e estima-se que o número de poços profundos seja superior a 4.000 (Cabral et al., 2000). A figura 01 apresenta um trecho da cidade, onde se pode observar a gravidade da exploração dos aquíferos na RMR. Os pontos escuros correspondem a parte dos poços cadastrados.

Este quadro de superexploração dos recursos hídricos tem sido presenciado em cidades que têm experimentado crescimento populacional acelerado nas últimas décadas, sendo obrigadas a administrar o inevitável dilema que advém do desenvolvimento urbano, e promover o abastecimento público sem comprometer os recursos naturais. Em vários locais do mundo a exploração de água tem sido a principal causa da ocorrência de subsidência de solo em áreas urbanas (Sato et al. 2002). Outras causas, de menor ocorrência em centros urbanos, ou típicas de algumas localidades, são o colapso de minas subterrâneas, movimentos tectônicos, hidrocompactação e a drenagem de solos orgânicos, entre outras.

2. ÁREA DE ESTUDO

Para desenvolver a pesquisa, foi escolhida como área piloto um trecho central do bairro de Boa Viagem, com uma área de 3 km², delimitada pelas linhas tracejadas, como é visto na figura 02.

FIGURA 02 – BAIRRO DE BOA VIAGEM NA CIDADE DO RECIFE



A escolha deste bairro como área de estudo se baseou em três fatores:

- a prática de exploração de água subterrânea nesta área é muito acentuada, em decorrência da alta densidade populacional;
- grande demanda turística, especialmente no período de setembro a março, por ser uma região de praia, ocasionando um superconsumo de água; e
- disponibilidade de um banco de dados com informações geotécnicas e hidrológicas, bem como informações das características hidrogeológicas da área, as

quais foram utilizadas em uma simulação numérica da subsidência utilizando o código computacional CODE_BRIGHT (Cabral, 2002).

3. METODOLOGIA PARA DETERMINAÇÃO DE SUBSIDÊNCIA

Muitas pesquisas sobre subsidência de solo, causada por diferentes fatores e usando diferentes metodologias de detecção, têm sido desenvolvidas em diversas partes do Mundo, como podemos constatar nos trabalhos de Bitelli et al. (1999) Chang (2000), Aguirre et Gemael (2001), Borre et al. (2001), Ge et al. (2001), Sato et al. (2002), entre outros.

O posicionamento geodésico através da tecnologia GPS tem hoje alcançado alta acuracidade, pois com os recentes desenvolvimentos tecnológicos, as medições fase das portadoras têm apresentado uma precisão da ordem de poucos milímetros ou melhor (Borre 2001).

O emprego do clássico método de nivelamento geodésico no monitoramento de subsidência de solo, bem como de outros fenômenos de deslocamentos verticais, tem sido também muito adotado, embora a técnica apresente-se muitas vezes inadequada quando conduzida em regiões urbanas. No entanto, o nivelamento torna-se imprescindível em locais onde há obstruções aos sinais dos satélites GPS, o que é comum nas áreas urbanas. Desta forma, dados de nivelamento combinados com os dados GPS compõem poderosa base de informações no estudo da subsidência de solo (Bitelli et al. 1999; Chang 2000).

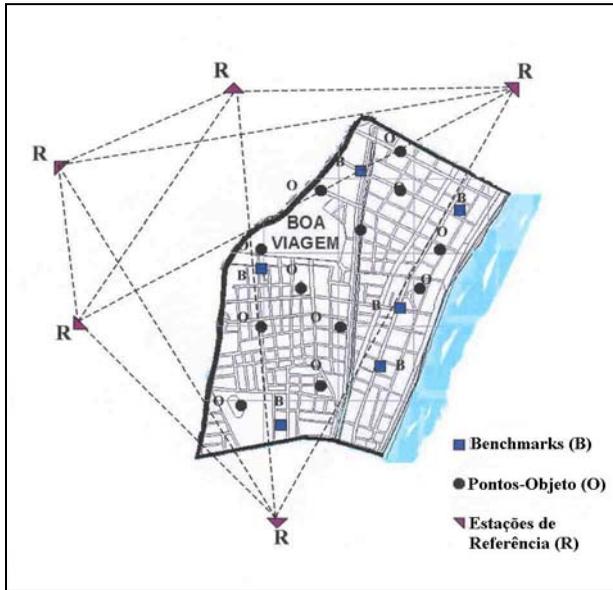
3.1. IMPLANTAÇÃO DE UMA REDE DE MONITORAMENTO GPS

3.1.1. Configuração da Rede de Monitoramento

A Rede de Monitoramento GPS será composta por cinco Estações de Referência (R), constituída de vértices externos à área de estudo, e por doze Pontos-Objeto (O), formado por pontos de interesse geodinâmico localizado, como é apresentado na figura 03. Além disso, seis benchmarks (B) existentes na área de estudo servirão como pontos de referência internos à área de suposta deformação.

A estabilidade dos vértices de referência é imprescindível, pois, na maioria dos estudos sobre deformações, os deslocamentos são obtidos através de comparação da observação dos pontos-objeto monitorados em relação aos vértices de referência, formando o chamado modelo absoluto (Niemeier 1985). Desse modo, qualquer ponto de referência instável, deve ser identificado e eliminado, antes do início do monitoramento.

FIGURA 03 – REDE DE MONITORAMENTO GPS



3.1.2. Observações GPS e Nivelamento Geométrico

As observações nos pontos de referência serão conduzidas simultaneamente por 5 receptores GPS de duas frequências, por um período mínimo de 4 horas. As distâncias entre as estações da rede não devem ultrapassar 20 km. Com isso, e para esse tempo de observação, os efeitos da ionosfera nas observáveis, os quais resultam da densidade espacial e temporal de elétrons na ionosfera, podem ser minimizados. Além disso, a correlação espacial dos erros atmosféricos e também dos erros orbitais decresce quando a distância entre as estações aumenta. Desta forma, esses erros não poderiam ser totalmente eliminados com o cálculo da dupla diferença nas equações de observação.

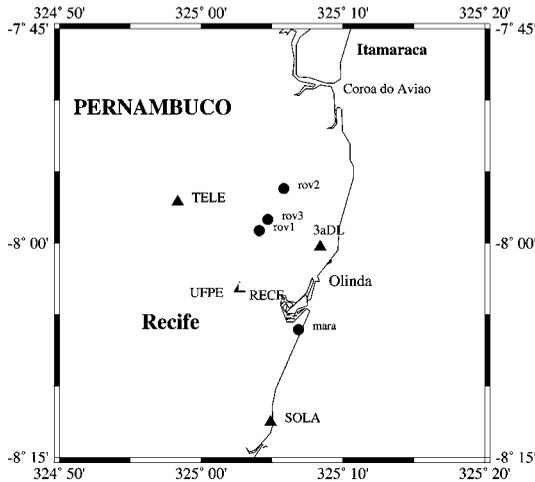
De um projeto de cooperação entre Brasil e Alemanha, duas campanhas GPS foram desenvolvidas no Brasil, uma em Pontal do Sul, no estado do Paraná, a qual foi usada em diversas aplicações marinhas (Krueger et al. 2001), e a outra foi desenvolvida em Recife, em novembro de 2000, onde uma rede de referência local GPS (Fig. 03), composta por 4 estações foi implementada para aplicações geodésicas em tempo real com precisão centimétrica. Os resultados mostraram que com esse tipo de rede de referência local é possível fornecer um posicionamento em tempo real preci-

so com distâncias de até 40 km, quando os aspectos de comunicação de dados são resolvidos (Willgalis et al., 2001, 2002) e quando os efeitos dos erros dependentes da distância e da estação são corrigidos ou eliminados (Seeber, 2001). A estação RECF, apresentada na figura 04, faz parte da Rede Brasileira GPS de Monitoramento Contínuo (RBMC) (Fortes et al., 1997) e será incorporada, juntamente com a estação 3aDL, à rede de monitoramento do presente projeto.

Alguns benchmarks estão situados em locais inadequados para a recepção dos sinais GPS. Neste caso, serão implantadas estações excêntricas, próximas aos benchmarks.

Para esta investigação, estão planejadas 4 épocas de observações GPS na rede de monitoramento, e de medições altimétricas com nivelamento geodésico de precisão, dos benchmarks aos pontos-objeto mais próximos deles.

FIGURA 04 – REDE DE REFERÊNCIA GPS LOCAL, EM RECIFE.



3.1.3. Processamento dos Dados e Análises

Para identificar instabilidade nas estações de referência da rede de monitoramento, causada por monumentalização inadequada dos marcos ou por proximidade das estações à área de deformação, antes dos procedimentos de cálculo e de análise dos possíveis deslocamentos verticais dos pontos-objeto, deve ser aplicado um ajustamento livre com injunções mínimas (Niemeier, 1985; Silva, 2002).

As observações GPS da rede de monitoramento serão processadas com o sistema de programas científico GEONAP (Wübbena, 1991).

Os cálculos para cada época k ($k = 1, 2, 3, 4$) podem ser conduzidos por um ajustamento livre, no qual as coordenadas de todos os pontos da rede de monitoramento são consideradas como parâmetros no modelo de Gauss-Markov (Niemeier, 1985; Pelzer, 1985; Koch, 2000; Hekimoglu et al., 2002):

$$\mathbf{l}_k + \mathbf{v}_k = \mathbf{A}_k \mathbf{x}_k, \quad (1)$$

onde k indica uma determinada época. O modelo estocástico é dado por:

$$D\{\mathbf{l}_k\} = \mathbf{Q}_{l_k} = \mathbf{P}_k^{-1} \quad (2)$$

Aqui, $D\{\mathbf{l}_k\}$ é a dispersão do $n \times 1$ vetor de observação \mathbf{l}_k ; \mathbf{v}_k é o $n \times 1$ vetor dos resíduos; \mathbf{A}_k é a $n \times u$ matriz dos coeficientes, \mathbf{x}_k é o $u \times 1$ vetor dos parâmetros, \mathbf{P}_k é a $n \times n$ matriz dos pesos das observações, e \mathbf{Q}_{l_k} é a $n \times n$ matriz dos cofatores.

Depois que a condição $\mathbf{v}_k^T \mathbf{P}_k \mathbf{v}_k = \min$ é atendida, a estimação dos parâmetros \mathbf{x}_k pode ser obtida com a expressão:

$$\hat{\mathbf{x}}_k = (\mathbf{A}_k^T \mathbf{P}_k \mathbf{A}_k)^+ \mathbf{A}_k^T \mathbf{P}_k \mathbf{l}_k \quad (3)$$

A matriz dos cofatores de $\hat{\mathbf{x}}_k$, a qual descreve a precisão dos parâmetros estimados, é das por:

$$\mathbf{Q}_{\hat{\mathbf{x}}\hat{\mathbf{x}}} = (\mathbf{A}_k^T \mathbf{P}_k \mathbf{A}_k)^+, \quad (4)$$

onde o índice superior $+$ indica que é uma pseudo-inversa das equações normais.

O vetor diferença \mathbf{d} formado da diferença entre os vetores dos parâmetros estimados para duas épocas (p.ex.. $k = 1$ e $k = 2$) e sua matriz dos cofatores $\mathbf{Q}_{\mathbf{d}\mathbf{d}}$ são expressas como:

$$\mathbf{d} = \hat{\mathbf{x}}_2 - \hat{\mathbf{x}}_1 \quad (5)$$

$$\mathbf{Q}_{\mathbf{d}\mathbf{d}} = \mathbf{Q}_{\hat{\mathbf{x}}_1 \hat{\mathbf{x}}_1} + \mathbf{Q}_{\hat{\mathbf{x}}_2 \hat{\mathbf{x}}_2} \quad (6)$$

Nesta etapa do processamento, é necessário realizar um teste global de congruência, com o objetivo de verificar se o vetor diferença \mathbf{d} é significativa. Em outras palavras, quaisquer diferenças de coordenadas, consideradas significantes, entre as

duas épocas, podem ser detectadas através deste teste. A quantidade T do teste de congruência global é calculada a partir das equações (5) e (6):

$$T = \frac{\mathbf{d}^T \mathbf{Q}_{dd}^+ \mathbf{d}}{h s_0^2} \quad (7)$$

Nesta expressão, h representa o traço da matriz dos cofatores \mathbf{Q}_{dd} . O fator de variância, s_0^2 , é dado por

$$s_0^2 = \frac{\mathbf{v}_1^T \mathbf{P}_1 \mathbf{v}_1 + \mathbf{v}_2^T \mathbf{P}_2 \mathbf{v}_2}{f}, \quad (8)$$

onde $f = f_1 + f_2$ é a soma dos graus de liberdade para as duas épocas.

Sob a suposição de que as coordenadas são as mesmas para as duas épocas, a hipótese-nula, H_0 , é estabelecida como segue:

$$H_0 : E\{\hat{\mathbf{x}}_1\} = E\{\hat{\mathbf{x}}_2\}, \quad (9)$$

O teste estatístico segue a distribuição F , em que α é o nível de significância escolhido.

$$P\left\{\frac{T}{s_0^2} \leq F_{h,f,1-\alpha} | H_0\right\} = 1 - \alpha \quad (10)$$

A hipótese nula é rejeitada quando $T > F_{h,f,1-\alpha}$. Neste caso, supõe-se a ocorrência de deformação. No próximo passo, é necessário localizar o ponto ou os pontos que contribuíram para a deformação. Esta investigação pode ser realizada aplicando-se o método de eliminação de Gauss ou outros métodos, os quais podem ser encontrados em p.ex. Niemeier (1985), Silva (1995), e Hekimoglu et al. (2002).

O teste de congruência global será aplicado tanto para verificar a ocorrência de deformação na área de estudo, como também para investigar a estabilidade das estações de referência. Assim, os resultados da 1ª época de medição ($k = 1$) serão comparados com os resultados obtidos na Campanha GPS conduzida em 2000, com o objetivo de verificar a estabilidade das estações RECF e 3aDL.

Os resultados das diferenças de altura GPS, obtidas entre o benchmark e os pontos-objeto circunvizinhos a ele, serão comparados com os resultados das diferenças de altitude ortométrica entre esses mesmos pontos para as duas épocas, com a pré-suposição de que as diferenças elipsoidais e as diferenças ortométricas são equiva-

lentes. Além disso, o geóide local pode ser considerado como constante na área de investigação.

3.2. SIMULAÇÃO NUMÉRICA

Uma simulação baseada no programa Code_Bright, desenvolvido na Universidade Politécnica da Catalunha, usando elementos finitos, foi recentemente aplicada na área de estudo em torno de um poço profundo. A utilização deste tipo de ferramenta exige, entretanto, um grande conhecimento da área analisada, principalmente dos parâmetros geotécnicos e hidrológicos e as características hidrogeológicas, além de grande confiabilidade no modelo utilizado, tal que o resultado obtido esteja de acordo com o comportamento quantitativo e qualitativo do processo. De acordo com Cabral (2002), nesta simulação foi considerada uma vazão constante e igual a $5,0\text{m}^3/\text{h}$ durante um período de 30 meses de bombeamento, com o nível do lençol freático inicialmente a 15 m de profundidade. Ao final do período simulado o rebaixamento observado foi de aproximadamente 3 cm na região próxima ao poço.

4. CONCLUSÃO

A investigação de subsidência de solo envolve diversas áreas de conhecimento, dentre as quais a geodésia tem papel fundamental no acompanhamento dos estudos geotécnicos, hidrológicos e hidro-geológicos, aplicados aos métodos matemáticos e numéricos.

Os resultados de pesquisas conduzidas em diversas partes do mundo têm demonstrado que a tecnologia GPS aplicada a um conceito de rede pode oferecer alto grau de acuracidade, permitindo a detecção de subsidência de solo em nível de poços centímetros.

Além disso, a comparação entre ambos tipos de diferenças de altitudes pode ser um bom indicador da factibilidade de uso do GPS na detecção de subsidência de solo.

Com o objetivo de conseguir uma boa precisão na estimativa dos rebaixamentos do solo pretende-se realizar outras simulações considerando diversos cenários de exploração, a partir da projeção de crescimento populacional e, considerando-se outras situações que melhor se aproximem de um quadro real.

5. REFERÊNCIAS

Aguirre, P.A.; Gemael, C., 2001. Análise de deslocamento em uma mina a céu aberto. **Revista Brasileira de Cartografia**, nº 53, pp. 93-96.

Bitelli, G.; Bonsignore, F.; Unguendoli, M., 2000. Levelling and GPS networks to monitor ground subsidence in the Southern Po Valley: **Journal of Geodynamics**, 30, pp. 355-369.

Cabral, J.J.S.P.; Santos, S.M.; Demétrio, J.G.A.; Montenegro, S.M.G.L., 2000. A groundwater information system for Recife metropolitan region. In: **Management Information Systems**, Lisboa.

Borre, K.; Jong, K.; Pichot, C., 2001. Subsidence monitoring system using real-time GPS sensors. In: **Proc. ION-GPS 2001**, Salt Lake City.

Cabral, J.J.S.P.; Santos, S.M.; Costa, L.M.; Guimarães, L.N.; Pontes Filho, I.D.S., 2002. Simulação numérica da possibilidade de ocorrência de subsidência devido a superexploração de água subterrânea. In: **Anais do VI Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste**, Maceió, Alagoas. Impresso em meio digital.

Chang, C.C., 2000. Estimation of local subsidence using GPS and leveling data. **Surveying and Land Information System**, 2(60), pp. 85-94.

Fortes, L.; Luz, R.; Pereira, K.; Costa, S.; Blitzkow, D., 1997. The brazilian network for continuous monitoring of GPS (RBMC): Operation and products. In: **IAG-Symposium 118**, Rio de Janeiro, pp. 73-78, Springer.

Ge, L.; Rizos, C.; Han, S.; Zebker, H.A., 2001. Mine subsidence monitoring using the combined InSAR and GPS approach. In: **Proc. 10th FIG International Symposium on Deformation Measurements**, Orange, California, 19-22 March, pp. 1-10.

Hekimoglu, S.; Demirel, H.; Aydin, C., 2002. Reliability of the conventional deformation analysis methods for vertical networks. In: **Proc. FIG XXII Int. Congress**, Washington D.C., April 2002.

Koch, K.-R., 2000. Beispiele zur Parameterschätzung, zur Feststellung von Konfidenzregionen und zur Hypothesenprüfung. **Mitteilungen aus den Geodätischen Instituten der Rheinischen Friedrich-Willhelms-Universität**, Nr. 87, Bonn.

Krueger, P.C.; de Souza, E.; Romão, V.M.C., 2001. Time investigations in the Mel Island using precise real time positioning in Curitiba, Brazil. In: **Proc. ION-GPS 2001**, Salt Lake City.

Niemeier, W., 1985. Deformationsanalyse. In: **Geodätische Netze in Landes-und Ingenieur-vermessung II**, Pelzer, H. (Hrsg). Vermessungswesen bei Konrad Wittwer, Band 13, Stuttgart, pp. 559-623, 1985.

Pelzer, H., 1985. Statische, kinematische und dynamische punktfelder. In: **Geodätische Netze in Landes-und Ingenieur-vermessung II**, Pelzer, H. (Hrsg). Vermessungswesen bei Konrad Wittwer, Band 13, Stuttgart, pp. 225-262.

Romão, V.M.C., 2001. 30 Jahre Anwendung von Satellitenverfahren zur Positionsbestimmung in Brasilien. **Wiss. Arb. der Fach. Verm. der Univ. Hannover**, Nr. 239, Hannover.

Sato, H.P.; Kaoru, A.; Ootaki, O., 2002. GPS- measured land subsidence in Ojiya City, Niigata Prefecture, Japan. **Engineering Geology**, 2180.

Seeber, G., 2001. Real-time satellite positioning on the centimeter level in the 21st century using permanent reference stations. Summerschool of the Nordic Geodetic Commission, Fevik, Norway, August 2000.

Silva, A S. 1995. Controle de qualidade da análise de deformações de estruturas. In: **Anais do XVII Congresso Brasileiro de Cartografia**, Salvador, pp. 440-443.

Silva, A. S.; Romão V. M. C., 2002. Ajustamento Livre e Cadastro In: **Anais do 5º Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário**. Florianópolis, Universidade Federal de Santa Catarina, CD Rom.

Willgalis, S.; Seeber, G.; Krueger, C.P.; Romão, V.M.C., 2001. Implementation of a GPS reference network for precise real time positioning in Recife, Brazil. In: **Proc. ION-GPS 2001**, Salt Lake City.

Wübbena, G., 1991. Zur Modellierung von GPS-Beobachtungen für die hochgenaue Positionsbestimmung. Dissertation, **Wiss. Arb. der Fach. Verm. Wesen der Univ. Hannover**, Nr. 168, Hannover, 1991.

DETERMINAÇÃO DE DESLOCAMENTOS VERTICAIS EM ESTRUTURAS DE PONTES UTILIZANDO TÉCNICAS GEODÉSICAS

Daniel Rodrigues Palazzo¹
Carlos Aurélio Nadal²
Amacin Rodrigues Moreira³
Luis Augusto Koenig Veiga⁴
Pedro Luis Faggion⁵

- 1 Eng. Civil, M. Eng. – drpalazzo@superig.com.br
- 2 Universidade Federal do Paraná – cnadal@ufpr.br
- 3 Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná – amacinrm@cefetpr.br
- 4 Universidade Federal do Paraná – kngveiga@geoc.ufpr.br
- 5 Universidade Federal do Paraná – faggion@geoc.ufpr.br

RESUMO

Este trabalho discorre sobre a interação entre técnicas geodésicas (nivelamento geométrico e trigonométrico) e a avaliação de estruturas de concreto como um método eficiente e de grande utilidade para o conhecimento do comportamento real da estrutura, fornecendo subsídios para a manutenção, a recuperação e o *retrofit* das mesmas, além de auxiliar na evolução da concepção e execução de novas estruturas. Faz uso de um estudo de caso, utilizando para isso a prova de carga, de maneira a avaliar a eficiência do método do nivelamento geométrico e do nivelamento trigonométrico no monitoramento e na avaliação estrutural de pontes de concreto. O estudo se apóia nos resultados dos deslocamentos verticais para o julgamento da capacidade do método de produzir resultados eficientes ao nível dos limites pré-estabelecidos.

Palavras-chave: Pontes; Concreto; Prova-de-Carga; Nivelamento Geométrico; Nivelamento Trigonométrico.

ABSTRACT

This work brings out full-scale proof load tests held by the interaction between geometric and trigonometric levellings and assessment of concrete bridges as an efficient and great valuable method in order to supply the real behavior of structures

under loading conditions, providing requirements for their maintenance, rehabilitation and retrofit. Furthermore concrete bridges shall be designed, constructed and operated taking in account the influence of these new constraints. An in-situ static load case study test was carried out to evaluate the efficiency of geometric end trigonometric levelling methods on structural monitoring of concrete bridges. Field measurements (vertical deflections) were used in comparison to theoretical results.

Keywords: Bridges; Concrete; Proof Load Testing; Geometric Levelling; Trigonometric Levelling.

1. INTRODUÇÃO

Segundo Faber, Val e Stewart (2000) as pontes dos Estados Unidos, Canadá, Europa, Austrália e de outros mais países e continentes estão envelhecendo. Como exemplo, eles citam que 60% das pontes de rodovias menores têm mais de 50 anos e que aproximadamente 55% de todas as pontes das *highway* têm mais de 20 anos.

Além disso, houve um aumento no peso dos veículos que circulam por essas vias e, conseqüentemente, um ajuste das normas em relação a esses novos valores de carregamento sobre as pontes e outras obras de arte que fazem parte dessas vias.

De acordo com Dewolf, Coon e O'Leary (1995), aproximadamente 20% das pontes nos Estados Unidos estão com problemas estruturais ou inadequadas para as condições atuais de carregamento. Muitas dessas pontes estão no fim de sua vida útil e outras foram dimensionadas para situações de menor carregamento e/ou menor volume de tráfego.

Segundo eles estudos econômicos mostram que é inviável a regularização de todos os problemas em todas as pontes, e muito menos a renovação ou reconstrução de todas elas. Desta forma, o monitoramento se torna um fator crítico na resolução deste problema, podendo fornecer condições de se conhecer o comportamento real destas estruturas em serviço, a fim de estabelecer um critério de gastos com a recuperação e manutenção adequadas a cada caso.

No Brasil, a situação das pontes rodoviárias pode ser considerada idêntica a esse quadro de depreciação, devido à ausência de uma política de manutenção, e à falta de resistência adequada aos novos valores de carregamento e aumento de tráfego, como apresentado em vários outros países.

Como os recursos existentes ao gerenciamento de toda a malha viária do país é escasso, o monitoramento das pontes torna-se importante em dois sentidos: o governo tem condições de decidir qual será o aporte de recursos necessário para a manutenção daquelas rodovias que realmente devem ficar sobre o controle do governo, seja ele federal, estadual ou municipal; as empresas que possuem a

concessão para a exploração dos serviços das rodovias que os governos julguem incapazes de gerenciá-las, tem condições de conhecer a capacidade resistente e as condições de vida útil das pontes que delas fazem parte e, desta forma, tomar as medidas apropriadas a cada caso, podendo realizar uma intervenção paliativa, uma recuperação, uma limitação no carregamento ou a reconstrução, quando for o caso.

É nesse sentido que este artigo apresenta um estudo de caso, onde é considerada a interdisciplinaridade entre as técnicas geodésicas de nivelamento e as técnicas de avaliação de estruturas de concreto, ou seja, a análise de projetos, a inspeção, a realização de ensaios e o monitoramento, como um instrumento eficiente, útil e viável no estudo do comportamento estrutural de partes de uma ponte em concreto ou da ponte como um todo, principalmente por fornecer subsídios suficientes para o seu conhecimento real e, dessa forma, gerar recursos para a sua manutenção, a sua recuperação ou o seu *retrofit*, além de auxiliar na evolução da concepção e execução de novas estruturas.

2. APRESENTAÇÃO DA PESQUISA

A presente pesquisa foi realizada no complexo industrial da Refinaria Presidente Getúlio Vargas – UN REPAR, a qual tinha a necessidade de obter resultados quanto ao comportamento em serviço de algumas pontes e pontilhões que, no caso, servem de travessia para caminhões e máquinas das tubovias contendo petróleo, óleos, combustível e gases, principalmente pelo fato que atualmente o fluxo de veículos pesados dentro da empresa tem aumentado em muito devido às obras de ampliação do complexo industrial.

A construção das pontes se deu em 1974 para veículos que, pelas normas da época (NB6, 1960), situavam-se na classe 36, ou seja, tinham peso total igual a 36 tf. Desde então, houve um aumento significativo no peso dos veículos que trafegam dentro da empresa, existindo atualmente veículos que chegam a ter um peso total de 60 tf, sem que houvesse nesses 28 anos uma avaliação do comportamento estrutural dessas pontes para os novos carregamentos.

O estudo de caso realizado na empresa compreendeu a execução de uma prova-de-carga em três pontes para a determinação dos deslocamentos verticais das lajes. Apenas três pontes de um universo de 76 foram ensaiadas, pelo fato dessas possuírem as mesmas características morfológicas que as outras 73, sendo que as que foram ensaiadas diferem entre si apenas em tamanho. Com a determinação dos deslocamentos verticais das lajes foi possível a verificação da capacidade resistente das pontes, assim como a realização de outras análises como descrito no final deste trabalho.

3. REALIZAÇÃO DOS ENSAIOS

3.1. DESCRIÇÃO DAS PONTES

Todas as pontes existentes na empresa possuem basicamente as mesmas características de geometria e concepção estrutural. São apenas duas as características que diferem as pontes entre si, ou seja, a primeira é o seu tamanho e a segunda, é o tipo de apoio das lajes. As três pontes ensaiadas foram escolhidas porque representavam os três tamanhos diferentes de pontes existentes.

Todas as pontes são formadas por lajes maciças pré-moldadas bi-apoiadas e, dependendo da região onde se encontram dentro da refinaria, ou seja, do tipo de solo onde estão assentadas, são apoiadas em pórticos e fundação profunda com blocos sobre estacas perfuradas ou cortinas de concreto e fundação direta com radier rígido.

O Quadro 1 apresenta um resumo das características geométricas das pontes e o Quadro 2 um resumo das características geométricas das lajes, ambos extraídos dos projetos executivos. Além disso, a Figura 1 apresenta uma visão geral da ponte P-A que é a maior das três escolhidas para a realização das provas-de-carga.

QUADRO 1 - RESUMO DAS CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DAS PONTES

PONTES	CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DAS PONTES				
	Número de Vãos	Comprimento do Vão	Comprimento Total	Largura Total	Largura Útil
P-A	20	3,05 m	61,00 m	7,5 m	7 m
P-B	9	2,90 m	26,10 m	7,5 m	7 m
P-C	2	3,05 m	6,10 m	7,5 m	7 m

QUADRO 2 - RESUMO DAS CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DAS LAJES DAS PONTES

PONTES	CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DAS LAJES					
	Lajes das Bordas			Lajes Centrais		
	Espessura	Largura	Comp.	Espessura	Largura	Comp.
P-A	35 cm	124 cm	304 cm	35 cm	99 cm	304 cm
P-B	35 cm	124 cm	289 cm	35 cm	99 cm	289 cm
P-C	30 cm	124 cm	304 cm	30 cm	99 cm	304 cm

FIGURA 1- VISÃO GERAL DA PONTE P-A



3.2. ESTUDOS PRELIMINARES PARA A PROVA-DE-CARGA

Anteriormente a realização da prova-de-carga, procedeu-se a avaliação da estrutura das pontes de acordo com os preceitos do Boletim 243 do CEB (1998) e da NBR 9607 (1986).

Inicialmente foi realizada uma pesquisa documental com a finalidade de se levantar subsídios para o entendimento do projeto estrutural. Foram analisados todos os projetos executivos das pontes, contendo planta de formas, cortes, planta e locação de fundação, detalhes de armadura e especificações técnicas construtivas e de material.

A seguir foi realizada uma vistoria preliminar nas três pontes ensaiadas com o objetivo de se verificar em primeiro lugar a compatibilidade entre o projeto e o que havia sido construído. Além disso, procurou-se observar as condições físicas das pontes após tantos anos de uso sem manutenção e com o aumento no carregamento. Observou-se também a ocorrência de patologias, sua extensão e características. Estudou-se as condições para a implantação de pilares com centragem-forçada para calagem dos equipamentos de monitoramento, pois existem muitas tubulações contendo material inflamável passando muito perto do local de trabalho, dificultando a escolha deste local.

O próximo passo foi a realização do planejamento da prova de carga que teve como base as informações colhidas por meio dos projetos analisados, da vistoria preliminar e do método escolhido para o monitoramento da prova de carga. De acordo com os dados analisados foram definidos a forma de carregamento das pontes, as etapas de carregamento, os pontos de verificação, o tipo de instrumentos utilizados, o posicionamento desses instrumentos em campo e os valores limites dos deslocamento que deveriam ser atingidos nas lajes.

Com esses itens definidos foi realizada uma inspeção visual detalhada em cada ponte para a verificação e confirmação das patologias observadas na vistoria preliminar, certificando-se assim do seu tipo, da sua localização, da sua extensão e da integridade física das pontes, pois devido a falta de uma inspeção que revele o estado de conservação da estrutura e a gravidade das patologias observadas, a prova-de-carga pode vir a prejudicar a capacidade resistente da estrutura ensaiada.

3.3. METODOLOGIA ADOTADA

A prova-de-carga foi executada com o intuito de se monitorar os deslocamentos verticais de pontos de controle pre-determinados.

Os pontos de controle foram determinados em função de duas variáveis: a primeira foi a escolha dos instrumentos utilizados no monitoramento; a segunda foi a escolha dos pontos que melhor fornecessem resultados capazes de permitir a visualização do comportamento estrutural real das pontes sob o carregamento imposto.

A localização e o tipo de carregamento efetuado foram determinados em função dos equipamentos disponíveis na empresa para a realização da prova de carga e obtenção dos máximos deslocamentos nas lajes e outros valores de comparação.

Para a escolha dos instrumentos utilizados nos ensaios houve a necessidade da definição da sua precisão de acordo com um estudo teórico dos máximos deslocamentos possíveis nas lajes (0,54 mm). Esses valores foram obtidos com base na carga máxima imposta durante a prova-de-carga e dos projetos estruturais de cada uma das três pontes, os quais definem a geometria e as propriedades dos materiais componentes das pontes. Com base nesse estudo, a precisão dos instrumentos foi definida em 0,1 mm.

Como o nível de precisão exigido era grande, pois o valor dos deslocamentos era muito pequeno para a geometria existente, as características estruturais das lajes (quantidade e posicionamento das armaduras) e o carregamento adotado, havia a possibilidade de utilização de um nível de precisão com placa plano-paralela ou de uma estação total.

Pelo fato dos Laboratórios de Geomática da UFPR possuírem os dois instrumentos em seu acervo, optou-se pela utilização dos dois aparelhos simultaneamente, gerando assim a possibilidade de comparação dos resultados finais.

Com a definição dos instrumentos utilizados no ensaio, dos pontos necessários a serem monitorados e a precisão requerida para os aparelhos, foi feita a escolha dos alvos. Para a obtenção dos resultados com a estação total foram utilizados alvos refletivos. Já no caso da obtenção dos resultados com o nível de precisão, foram utilizados alvos impressos em papel auto-adesivo, colados em ripas de madeira

presas ao guarda-corpo das pontes, conforme a técnica apresentada por Schaal (2002), ao invés das tradicionais balizas.

O carregamento das pontes ensaiadas foi feito com o auxílio de um caminhão da brigada de incêndio da empresa.

3.4. LOGÍSTICA DA PROVA-DE-CARGA

A prova-de-carga foi aplicada com o uso de técnicas geodésicas, ou seja, de nivelamento geométrico e trigonométrico, para a verificação das coordenadas verticais dos pontos de controle definidos para o monitoramento.

3.4.1. Nivelamento Geométrico

Para o monitoramento e controle vertical dos alvos fixados nas muretas das pontes, foi utilizado o método de nivelamento geométrico por visadas extremas, tomando-se os devidos cuidados com os erros sistemáticos inerentes a este processo, quais sejam: a curvatura da Terra, a refração atmosférica e a colimação vertical.

Tradicionalmente utiliza-se o nivelamento geométrico com a técnica de visadas iguais onde a diferença entre as leituras de duas miras, aproximadamente eqüidistantes do nível, fornecem a diferença de altitude ou a diferença de cotas entre os dois pontos, isentas de erros sistemáticos (Nadal, 2002).

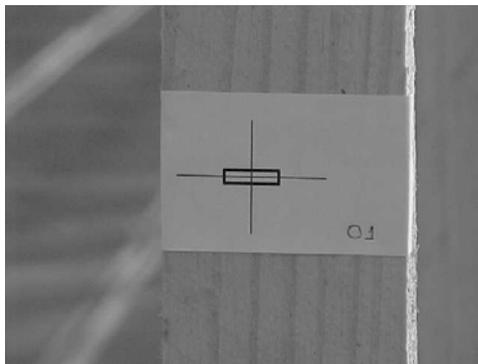
Este método foi adotado em detrimento ao que recomenda a resolução Pr-22 (IBGE, 1983), que especifica para os levantamentos de alta precisão na forma de circuitos, podendo-se desta maneira verificar os erros de fechamento, fato este que não acontece no caso do levantamento geométrico por visadas extremas.

No caso de monitoramento de pontes, o método de levantamento por circuito torna-se muito demorado, de baixo rendimento, oneroso por consequência e, dependendo da posição em que se encontra o nível, não existe a possibilidade da observação de todos os pontos quando da passagem do veículo de carga, sendo neste ponto desfigurado o método pela incapacidade de fechamento do circuito.

Para o estudo de caso em questão foi utilizado um nível de alta precisão da marca Wild, com placa plano-paralela, modelo N3.

Os alvos impressos em papel auto-adesivo foram colados em ripas de madeira, conforme a Figura 2, a uma altura em que fosse possível a pontaria em relação ao horizonte do nível, fazendo com que o retículo horizontal do nível coincidissem com o eixo horizontal do alvo. As ripas contendo os alvos foram fixadas aos guarda-corpos dos dois lados das pontes.

FIGURA 2 - ALVOS AUTO-ADESIVOS



O nível foi instalado em um tripé, em uma posição que se pudesse observar os alvos colocados dos dois lados das pontes. Foi feita a sua centragem forçada, sua calagem e, em seguida, foram feitas as visadas para a colocação dos alvos nas pontes. A posição inicial de leitura foi estacionada em 5 mm, de forma que houve a possibilidade de se efetuar leituras de deslocamentos de até 5mm para cima ou para baixo; a pontaria ao alvo foi efetivada, com o auxílio do parafuso associado a placa plano-paralela, fazendo com que o retículo horizontal coincidisse com o eixo horizontal do alvo. Procedeu-se a leitura do parafuso, que marcava o quanto a placa havia se deslocado para que houvesse o ajuste do eixo e do retículo, o que significa na prática o quanto houve de deslocamento naquele ponto visado.

Foi marcada nos alvos uma numeração seqüencial para identificação de cada ponto observado, permitindo a sua identificação e anotação das leituras na caderneta de campo.

3.4.2. Nivelamento Trigonométrico

Para o caso do monitoramento e controle vertical dos refletores fixados nas muretas das pontes e dos refletores móveis apoiados em bi-pés sobre as lajes, foi utilizado o método de nivelamento trigonométrico, tomando-se, neste caso também, os devidos cuidados com os erros sistemáticos inerentes a este processo, os quais são idênticos aos erros sistemáticos quando do uso do nivelamento geométrico (curvatura da Terra, refração atmosférica e colimação vertical). Os refletores móveis foram utilizados para a obtenção dos deslocamentos dos pontos de controle que se encontravam em cima das lajes. Isso ocorreu pelo fato que o carregamento das pontes foi realizado com o auxílio de um caminhão, sendo assim impossível a fixação dos refletores nas lajes por onde ele teria de passar.

Este método também foge das recomendações da resolução Pr-22 (IBGE, 1983), a qual especifica para os levantamentos de alta precisão o nivelamento geométrico na forma de circuitos. Porém ele foi adotado de modo a se realizar uma comparação entre o nivelamento geométrico por visadas iguais e o nivelamento trigonométrico, procurando verificar a eficiência dos dois métodos no caso específico do monitoramento de pontes, utilizando-se equipamentos adequados ao caso.

No estudo de caso em questão foi utilizada uma estação total da marca Wild, modelo TC2002.

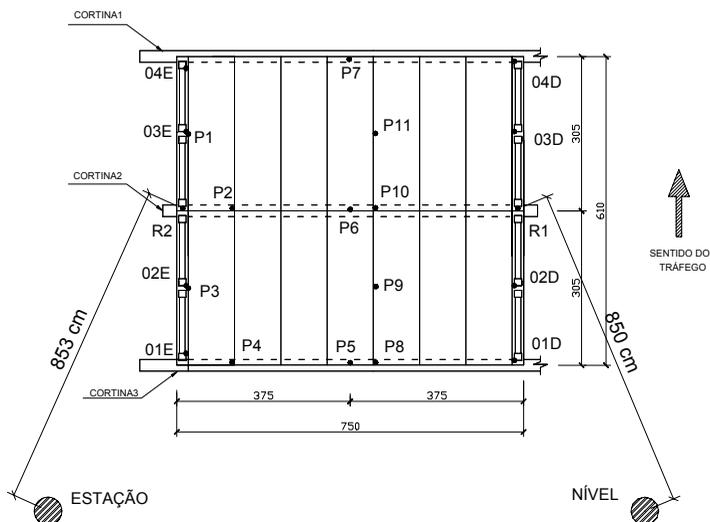
Dois refletores, que serviam de referência para todas as medições, foram fixados aos guarda-corpos das pontes sempre localizados em cima de um pórtico ou de uma cortina por serem partes da estrutura com grande rigidez, sendo um de cada lado, no sentido transversal das mesmas. Outro refletor foi colocado em um bi-pé móvel, de maneira que ele pudesse ser movimentado para os todos pontos marcados para observação que se encontravam em cima das placas de lajes.

A estação total foi instalada com centragem forçada e nivelada por meio dos parafusos calantes. Em seguida foi feita uma visada a um dos refletores e o eixo horizontal zerado. A seguir foram observados e anotados os dados referentes aos pontos de interesse.

Da mesma forma, como nos alvos auto-adesivos, foi feita uma marcação nas placas para a identificação de cada ponto observado, permitindo que o bi-pé contendo o refletor fosse posicionado sempre no mesmo ponto, evitando assim leituras enganosas por falta de coerência no seu posicionamento.

A Figura 3 apresenta a localização dos pontos observados e sua identificação na ponte P-C, além do posicionamento do nível e da estação para a realização das leituras. Os pontos 01D a 04D e 01E a 04E representam os pontos observados pelo nível. Os pontos P1 a P11 representam os pontos monitorados pela estação total, além dos pontos R1 e R2 que representam os refletores fixos. As pontes P-A e P-B tiveram basicamente a mesma marcação dos pontos como na ponte P-C. Porém, como estas duas pontes são maiores, outros pontos ao longo dos outros pórticos existentes também foram monitorados.

FIGURA 3 - POSICIONAMENTO DOS INSTRUMENTOS E DOS PONTOS DE CONTROLE

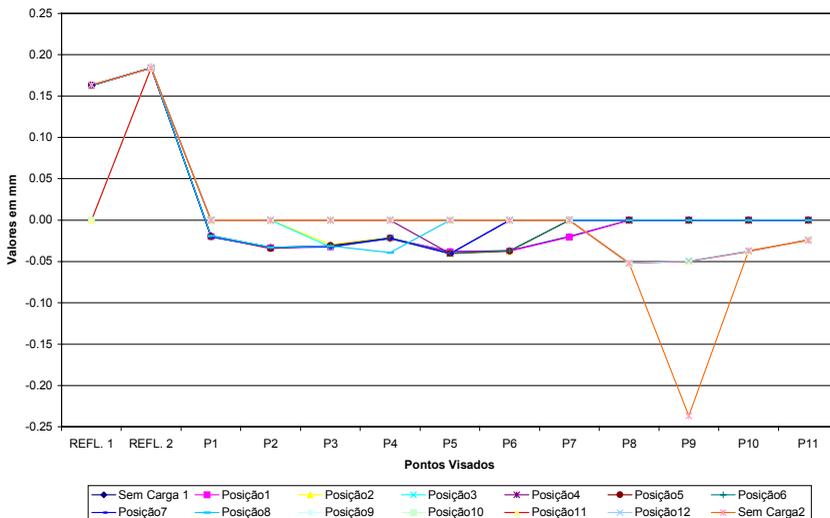


3.4.3. Carregamento das Pontes

Foram realizadas provas-de-carga estáticas, nas três pontes escolhidas para o ensaio, em função dos equipamentos utilizados para o controle dos deslocamentos não serem apropriados para a obtenção de dados provenientes de prova-de-carga dinâmica.

Primeiramente, foram obtidos os dados dos pontos de controle com a ponte sem carga. Em seguida, cada ponte era carregada e os dados eram novamente obtidos. Como foi realizada uma prova-de-carga estática, a carga era mudada de posição e novas medições eram realizadas. O caminhão era posicionado em cima das cortinas (ou dos pórticos, dependendo da ponte e ensaiada) e em cima de pontos que se encontravam no centro das lajes, seguindo sempre o sentido do tráfego. O caminhão percorreu primeiramente os pontos pré-determinados na lateral esquerda da ponte, posteriormente o mesmo esquema foi adotado para que ele trafegasse ao centro da ponte e em seguida pela lateral direita. Ou seja, foram obtidos os deslocamentos das lajes nos pontos de controle pré-determinados (Figura 3), com a carga de ensaio sendo aplicada dos dois lados e ao centro da ponte. Ao final, quando o caminhão já havia sido colocado em todas as posições pré-determinadas, as pontes foram descarregadas e novas leituras foram realizadas com as pontes sem carga após a saída do caminhão.

GRÁFICO 2 - VALORES OBTIDOS COM A ESTAÇÃO TOTAL



5. CONCLUSÃO

Como se pode observar, os deslocamentos relativos das lajes das pontes resultaram em valores bem pequenos como havia sido previsto no estudo teórico para a determinação da precisão dos instrumentos. Como a carga aplicada foi pequena em relação à resistência, praticamente não houve deformações nas lajes e os seus deslocamentos ficaram em torno de décimos de milímetros.

Os resultados obtidos com o uso da estação total ficaram bastante prejudicados pelo fato que o caminhão, em muitas situações, se encontrava em cima dos pontos de controle, impedindo que os refletores pudessem ser posicionados nesses locais. Dessa forma, as curvas nos gráficos tem uma tendência grande a coincidir com o eixo X. Apesar do Gráfico 2 não apresentar linhas que tenham praticamente a mesma geometria, como acontece no Gráfico 1, os valores diferentes de zero são bastante próximos.

Para a interpretação do comportamento físico das lajes das pontes, deve-se analisar as linhas que representam o posicionamento do caminhão durante o ensaio. Por possuírem praticamente a mesma geometria, elas revelam que as lajes se deformaram praticamente da mesma maneira em cada etapa de carregamento. Este fato mostra que não há nenhuma descontinuidade no comportamento físico das pontes, ou seja, as pontes não se comportam de maneira diversa quando a carga é aplicada em pontos diferentes.

Com os valores dos deslocamentos relativos foi possível determinar a capacidade resistente real das pontes. Isso fez com que houvesse a liberação do tráfego de caminhões dentro da refinaria que, a princípio, se achava que prejudicaria a estrutura da pontes.

Pelo fato dos deslocamentos resultantes ficarem próximos ao valor de precisão dos instrumentos utilizados, foi possível então avaliar a sua capacidade de medir valores tão pequenos, como previsto no estudo teórico.

Além disso, a utilização de técnicas de avaliação de estruturas de concreto aliadas às técnicas geodésicas de nivelamento se mostrou bastante eficiente, pois pôde-se prever e comprovar os resultados dos ensaios com bastante confiança.

6. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9607**: prova de carga em estruturas de concreto armado e protendido. Rio de Janeiro, 1986.

COMITE EURO-INTERNATIONAL DU BETON. **CEB-FIP Bulletin 243**: Strategies for Testing and Assessment of Concrete Structures. Lausanne, 1998. 184 p.

DEWOLF, J. T.; COON, P. E.; O'LEARY, P. N. Continuous Monitoring of Bridges. In: IABSE SYMPOSIUM, 1995, San Francisco. **Proceedings...** San Francisco, 1995, p.145-158.

FABER, M. H.; VAL, D. V.; STEWART, M. G. Proof Load Testing for Bridge Assessment and Upgrading. **Engineering Structures**, n. 22, 2000, p. 1677-1689. Disponível em: < <http://www.elsevier.com/locate/engstruct>> Acesso em: 17 nov. 2001.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Resolução Pr-22**: Brasília, 1983.

NADAL, C. A. **Cartografia Aplicada à SIG**. Curitiba: Curso de Pós-Graduação em Geoprocessamento, UFPR, 2002, 110 p.

SCHAAL, R. E. Controle de Deslocamentos Estáticos e Dinâmicos nas Obras Civis com o GPS. In: WORKSHOP DA APLICAÇÃO DA GEODÉSIA NO MONITORAMENTO DE ESTRUTURAS, 1., 2002, São Paulo. **Anais...** São Paulo: EPUSP, 2002. 1 CD-ROM.

7. AGRADECIMENTOS

Agradecemos a cooperação da equipe técnica da Refinaria Presidente Getúlio Vargas – UN REPAR que nos forneceu todo o apoio logístico para que esta pesquisa pudesse ser realizada.

GEÓIDE GRAVIMÉTRICO PARA O ESTADO DE SÃO PAULO: *avaliação de resultados*

Sergio Florencio de Souza¹

Nelsi Côgo de Sá²

¹Universidade Federal do Rio Grande do Sul – sergio.florencio@ufrgs.br

²Universidade de São Paulo – nelsi@iag.usp.br

RESUMO

A determinação e a avaliação do geóide, que por mais de um século evoluíram de forma lenta em consequência da falta de dados, algoritmos e recursos computacionais, constituem atualmente temas de grande interesse e passaram a evoluir com notável rapidez tanto no aspecto teórico como no prático. Até o final de 2001, o único modelo geoidal de alta resolução disponível para o Estado de São Paulo, era o determinado por Sá & Molina (1995), e denominado de MDG95. Este geóide foi obtido pelo método de Stokes, modificado para a integração sobre a esfera através da transformada de Fourier. A componente determinística foi representada pelo modelo geopotencial OSU91, truncado em grau 180 e os dados gravimétricos terrestres e oceânicos utilizados, foram os disponíveis para a época. No decorrer deste período, a quantidade e distribuição dos dados gravimétricos no Estado de São Paulo melhoraram consideravelmente, surgiu um novo modelo do geopotencial, conhecido pela sigla EGM96 e o modelo topográfico digital do Estado de São Paulo foi constantemente aprimorado. A proposta deste artigo é avaliar um novo modelo geoidal, determinado pelo método de colocação por mínimos quadrados, a partir destes novos dados, denominado de MDG02. A avaliação foi realizada através da comparação das alturas geoidais dos modelos geoidais, com alturas geoidais determinadas a partir das coordenadas geodésicas, resultantes do posicionamento através do GPS em pontos da rede de nivelamento geométrico, e da altitude ortométrica nesses pontos. Os resultados mostraram que houve uma evolução do modelo geoidal MDG95 para o MDG02, e que para muitos objetivos, o MDG02 pode ser utilizado no nivelamento por satélite.

Palavras-chave: geóide gravimétrico, rede GPS, componente sistemática

GRAVIMETRIC GEOID FOR THE STATE OF SÃO PAULO: *evaluation of results*

Sergio Florencio de Souza¹
Nelsi Côgo de Sá²

¹ Federal University of Rio Grande do Sul - sergioflorencio@ufrgs.br

² University of São Paulo - nelsi@iag.usp.br

ABSTRACT

The determination and the evaluation of the geoid that, for more than a century have slowly evolved due to the lack of data, algorithms and computer science resources, nowadays are issues that rise great interest, and since then, they have been evolving in an astounding speed either concerning its theoretical as well as its practical aspects. Until the end of 2001, the only high-resolution geoidal model available for the State of São Paulo was the one determined by Sá & Molina (1995), which was called MDG95. This geoid was gotten by the Stokes method, and modified to integration on the sphere through Fourier transformed data. The deterministic component was represented by the OSU91 geopotential, truncated in degree 180, and the terrestrial and oceanic gravimetric data used were the ones available at that time. Along this period of time, the amount and distribution of the gravimetric data in the State of São Paulo have consistently improved, and a new geopotential model appeared, which was known as EGM96. The digital topographical model of the State of São Paulo has been continuously improved. The purpose of this paper is to evaluate a new geoidal model, determined by the method of least square collocation, starting from these new data, named as MDG02. The evaluation was carried through the comparison of the geoidal heights of the geoidal models, with the geoidal heights being determined from the geodesic coordinates, and resulting from the positioning through the GPS on points of the geometric leveling network, and from the orthometric height at these points. The results have shown that there had been an evolution of the MDG95 geoidal model to the MDG02 one, and that for many purposes, the MDG02 may be used at the leveling by satellite.

Key-words: gravimetric geoid, GPS network, systematic component

1. INTRODUÇÃO

A determinação da altitude ortométrica, imprescindível em várias atividades cotidianas (mapeamento, distribuição de água, saneamento, planejamento urbano, etc), praticamente não evoluiu durante um século e, até bem pouco tempo não havia alternativa para se evitar os inconvenientes da morosidade e do custo elevado do nivelamento clássico. Isto é particularmente problemático para os países com dimensões continentais, como é o caso do Brasil. Além das dificuldades geográficas naturais, a implantação de uma rede de nivelamento, que se estenda por todas as regiões do País, de maneira a possibilitar uma distribuição geográfica adequada às necessidades dos usuários, é inviável economicamente. Atualmente, nas atividades aqui mencionadas, é possível substituir os métodos tradicionais pelo uso do GPS combinado com alturas geoidais obtidas a partir de modelos de alta resolução. Neste caso, dois requisitos são fundamentais: um geóide de alta precisão compatível com o sistema altimétrico, e uma rede GPS suficientemente densa que permita a aplicação desta metodologia de forma eficiente. Esta combinação tem motivado inúmeros trabalhos nestes últimos anos (Souza, 2002; Featherstone, 2001; Subiza, 2000; Fotopoulos et al., 1999; Kotsakis & Sideris, 1999; Mainville et al., 1992; Engelis et al., 1984; entre outros).

A idéia deste trabalho é avaliar dois modelos geoidais existentes no Estado de São Paulo. O primeiro foi calculado por Sá & Molina (1995); o segundo, foi determinado por Souza (2002), utilizando um modelo digital gravimétrico obtido a partir da combinação de dados gravimétricos e topográficos. Na determinação desse último geóide foi utilizado o método da colocação por mínimos quadrados, que permite combinar dados do campo de gravidade, dados topográficos e coeficientes de modelos geopotenciais. Na avaliação dos geóides foi usada uma rede GPS densa, implantada sobre RNs, e ajustadas com relação às estações da RBMC. Esses dados proporcionaram a avaliação dos modelos geoidais de forma absoluta e relativa.

2. DADOS

Os dados utilizados na determinação e avaliação do geóide gravimétrico do Estado de São Paulo foram:

- Coeficientes do potencial gravitacional,
- Dados gravimétricos,
- Dados topográficos,
- Modelo Geoidal MDG95
- Rede GPS.

2.1 Coeficientes do potencial gravitacional

O conhecimento do potencial gravitacional da Terra em escala global e com alta resolução é um pré-requisito para o desenvolvimento de diversas ciências, como a Geodésia, Geofísica, Oceanografia entre outras. Nos últimos anos, os avanços dos recursos computacionais e da teoria, deram um grande impulso no desenvolvimento de modelos geopotenciais. Esses modelos, expressos por conjuntos de coeficientes do potencial gravitacional anômalo, desenvolvido em harmônicos esféricos (Heiskanen & Moritz, 1967), são determinados através da integração de dados do campo de gravidade, heterogêneos em tipo e precisão. Atualmente, os modelos geopotenciais integram os sistemas de referência geodésicos e vem sendo usados como esferóides combinados com dados locais para a representação do campo de gravidade anômalo de alta resolução (Souza, 2002; Sá & Molina, 1995; Sá, 1988). Como a distribuição geográfica dos dados gravimétricos usados na determinação dos coeficientes de alto grau ainda é muito irregular em termos globais, esses modelos refletem essa deficiência na representação do campo de gravidade anômalo sobre toda a superfície terrestre. O *Earth Geopotential Model 1996* (EGM96), que resultou do trabalho conjunto realizado pela *National Imagery and Mapping Agency* (NIMA), NASA através do *Goddard Space Flight Center* (GSFC) e *Ohio State University* (OSU), contém coeficientes do potencial gravitacional expresso em harmônicos esféricos até o grau 360, o que significa uma resolução espacial de 30' de arco (Lemoine et al., 1998).

2.2 Dados gravimétricos

Os dados gravimétricos, que foram utilizados neste trabalho, resultaram da integração de três tipos de informações: terrestres, oceânicas e de altimetria por satélite. As informações terrestres foram obtidas em levantamentos realizados por várias instituições (Sá, 1988), com objetivos diversos; as oceânicas foram coletadas por instituições internacionais nos levantamentos de Geofísica marinha, processadas e fornecidas pelo *U. S. National Geophysical Data Center* (NGDC); as de altimetria por satélite são aquelas que resultaram das missões GEOSAT e ERS-1, convertidas em anomalias ar-livre na forma digital (Andersen & Knudsen, 1998). As medidas terrestres foram referidas a *International Gravity Standardization Net 1971* (IGSN71) através da Rede Gravimétrica Fundamental Brasileira (RGFB), implantada a partir de 1975. Os dados gravimétricos terrestres foram acrescidos com os de levantamentos recentes realizados por diversas instituições. Entretanto, ainda há regiões com deficiência de dados, por exemplo, a área compreendida entre os paralelos (-24° e -27°) e os meridianos (-54° e 52°), que foi preenchida com anomalias gravimétricas obtidas do modelo geopotencial EGM96. Este procedimento foi necessário para evitar possíveis problemas com os algoritmos de

aproximação na determinação do modelo gravimétrico digital. Com a junção de todos os dados gravimétricos existentes (terrestres e oceânicos), foi gerado um arquivo contendo cerca de 31540 registros (Souza, 2002).

2.3 Dados topográficos

O modelo topográfico utilizado neste trabalho faz parte do Modelo Topográfico Digital do Brasil (MTDB), que vem sendo determinado no IAG para ser usado em correções gravimétricas e na determinação do geóide gravimétrico de alta resolução para o Brasil (Sá, 1997). A resolução efetiva do MTDB na região deste projeto, é de 2,5', e para o restante do Brasil é de 5'. Isto significa que o Modelo Topográfico Digital do Estado de São Paulo (MTDSP), tem resolução de 2,5' no continente e aproximadamente 5' no oceano. Mas, este não constitui um problema, pois a principal contribuição do MTDSP é possibilitar a obtenção do Modelo Digital da anomalia Ar-livre (MDGA) a partir do Bouguer (Souza, 2002).

No cálculo do erro do modelo digital ar-livre a partir do Bouguer, é necessário o erro do modelo topográfico digital. Esse erro foi estimado com base na escala dos mapas topográficos usados para a obtenção das altitudes e no gradiente horizontal médio (Sá, 2002).

2.4 Modelo Geoidal MDG95

Até o final de 2001, o único modelo geoidal de alta resolução disponível para o Estado de São Paulo, era o determinado por Sá & Molina (1995), e neste trabalho, denominado de MDG95. Esse modelo geoidal foi obtido pelo método de Stokes, modificado para a integração sobre a esfera através da transformada de Fourier. A componente determinística foi representada pelo modelo geopotencial OSU91, truncado em grau 180 e os dados gravimétricos terrestres e oceânicos utilizados foram os disponíveis para a época.

2.5 Rede GPS

A rede GPS do estado de São Paulo é constituída de 160 RNs, selecionadas entre as mais de 10000 que integram às redes do IGG e IBGE na região, visando o aprimoramento do geóide e o apoio básico local (Sá et al., 2001). A distância média entre as RNs que constituem essa rede é da ordem de 60 km, o que implica em bases máximas de 30 km para posicionar qualquer ponto do Estado. Para bases desse comprimento, o posicionamento relativo estático fornece precisão satisfatória para várias aplicações, mesmo com receptores de uma frequência.

3. METODOLOGIA

A metodologia utilizada no desenvolvimento do trabalho envolve as seguintes atividades: a determinação do geóide gravimétrico MDG02 e a avaliação dos modelos geoidais, a partir dos dados da rede GPS do Estado de São Paulo.

A determinação do geóide através da colocação por mínimos quadrados foi realizada a partir da anomalia residual na forma de um Modelo Gravimétrico Digital Ar-livre residual (MDGAR), obtido com a remoção da componente determinística do MDGA.

Para determinar o geóide gravimétrico a altura geoidal foi expressa em 4 componentes:

$$N = N_M + N_{\Delta g_r} + N_T + N_I \quad (1)$$

onde N_M é a componente fornecida pelo modelo geopotencial, $N_{\Delta g_r}$, N_T e N_I são as contribuições gravimétrica, da correção topográfica e do efeito indireto, respectivamente. A componente esferoidal foi obtida a partir dos coeficientes do modelo EGM96 (Lemoine et al., 1998). A contribuição gravimétrica foi determinada através da colocação por mínimos quadrados (Moritz, 1980). Usando essa técnica, a altura geoidal pode ser determinada diretamente das anomalias gravimétricas a partir da expressão (Forsberg & Tscherning, 1981).

$$N_{\Delta g_r} = C_{\Delta g_r} C^{-1} \Delta g_r \quad (2)$$

com

$$C^{-1} = (C_{\Delta g_r, \Delta g_r} + e_{II})^{-1} \quad (3)$$

A variância da altura geoidal, é expressa por

$$\sigma_N^2 = C_{NN} - C_{N\Delta g} C_{\Delta g}^{-1} C_{\Delta g N} \quad (4)$$

onde $C_{\Delta g \Delta g}$ é a matriz covariância de dimensões $n \times n$ entre as anomalias observadas, e_{ij} são as variâncias dos erros das observações, e $C_{\Delta g N}$ é a matriz covariância entre a anomalia gravimétrica observada e a ondulação do geóide. Finalmente, σ_N^2 representa a variância do erro do geóide calculado.

O modelo utilizado para a representação de covariâncias foi o proposto por (Tscheming & Rapp 1974)

$$C_{\Delta g \Delta g} = \sum_{i=2}^{\infty} \sigma_i \left(\frac{R_B^2}{r_P r_Q} \right)^{i+2} P_i(\cos \psi_{PQ}) \quad (5)$$

onde

σ_i , $i \leq 180$ representa a variância de grau do erro contido no modelo do geopotencial,

$$\sigma_i > 180, \quad \sigma_i = \frac{n-1}{(n-2)(n+24)}$$

R_B representa o raio da maior esfera geocêntrica inteiramente contida na Terra, denominada esfera de *Bjerhammar*, r_P, r_Q são os raios vetores de P e Q , P_i são os polinômios de Legendre, e ψ_{PQ} é a distância esférica entre P e Q

A função covariância entre a altura geoidal e a anomalia gravimétrica é obtida multiplicando as variâncias de grau σ_i , $i \leq 180$ por $r/((i-1)/\gamma)$, onde γ é a gravidade normal.

A correção topográfica foi obtida a partir da expressão (Forsberg, 1997).

$$N_T = G\rho \int_E^H \int_{H_p}^H \frac{(z - H_p)}{\left[(x_p - x)^2 + (y_p - y)^2 + (H_p - z)^2 \right]^{\frac{3}{2}}} \quad (6)$$

onde

x_p, y_p, H_p são as coordenadas da estação; x, y, z são as coordenadas dos pontos do modelo topográfico, ρ é a densidade média da crosta, G é a constante universal da gravitação

O efeito indireto foi determinado a partir do MTDSP, através da fórmula (Wichiencharoen, 1982).

$$N_i = -\frac{\pi G \rho}{\gamma} H^2 \quad (7)$$

onde γ é a gravidade normal.

4. RESULTADOS E CONCLUSÕES

Na avaliação do geóide, foram comparadas as alturas geoidais obtidas a partir de dados do campo de gravidade com as alturas geoidais determinadas a partir das coordenadas geodésicas, obtidas com o posicionamento através do GPS em pontos da rede de nivelamento geométrico, e da altitude ortométrica nesses pontos. Esta avaliação pode ser realizada de forma absoluta ou relativa. Na avaliação absoluta são comparadas às alturas geoidais, obtidas por diferentes técnicas, nos mesmos pontos; na relativa, são comparadas as diferenças de alturas geoidais entre pares de pontos.

4.1 Avaliação absoluta

A avaliação absoluta consiste na comparação das alturas geoidais obtidas por duas técnicas diferentes. É realizada a partir das diferenças entre as alturas geoidais obtidas a partir de dados gravimétricos, modelos topográficos e dos coeficientes do modelo do geopotencial (N_{GRAV}), com as alturas geoidais obtidas através do posicionamento por satélites GPS, de referências de nível (RNs), na qual se conhece as altitudes ortométricas (N_{GPS}).

$$\Delta N = N_{GPS} - N_{GRAV} \quad (8)$$

Primeiramente, fez-se a remoção de erros grosseiros, e a seguir, foram determinados os parâmetros estatísticos utilizados na avaliação dos modelos geoidais. A Tabela 1 mostra a componente sistemática média, para o MDG02 é da ordem de 0,813m e, para o MDG95, é igual a 0,426. A diferença entre as componentes sistemáticas é da ordem de 0,387m, e está associada à utilização de modelos do geopotencial diferentes, e na quantidade de dados gravimétricos utilizados na determinação do geóide.

Tabela 1 - Resultados da componente sistemática obtida para os modelos geoidais MDG02 e MDG95.

	ΔN ($N_{GPS} - N_{MDG02}$)	ΔN ($N_{GPS} - N_{MDG95}$)
Número de dados	140	153
Mínimo (m)	-1,201	-0,846
Máximo (m)	1,426	1,376
Média (m)	0,813	0,426
Desvio padrão (m)	0,458	0,413
EMQ ¹ (m ²)	0,870	0,350

A componente sistemática está associada às distorções nas altitudes geométricas, ortométricas e na altura geoidal; aos efeitos geodinâmicos e as aproximações teóricas na determinação da altitude ortométrica e da altura geoidal. O modelo geoidal MDG95, apresenta uma componente inferior à do MDG02. Deve-se salientar que a forma de cálculo do geóide, o modelo do geopotencial utilizado, a quantidade e distribuição dos dados gravimétricos foram diferentes das atuais. Estes resultados mostram que ocorreu uma evolução do modelo geoidal desde a determinação do geóide de Sá & Molina (1995) e o atual, obtido pelo método da colocação por mínimos quadrados. A evolução ocorreu pelo adensamento gravimétrico, a utilização de um modelo topográfico digital e o respectivo erro, com os quais foi possível estimar os erros do modelo gravimétrico digital, além de possibilitar o cálculo da correção topográfica com uma maior precisão. Por último, a técnica utilizada para a determinação do geóide gravimétrico, que possibilitou a

¹ Erro Médio Quadrático (EMQ)

inclusão dos erros associados aos dados gravimétricos na determinação do geóide e de seu erro.

4.2 Avaliação relativa

O princípio da avaliação relativa baseia-se na dupla diferença de alturas geoidais

$$\delta\Delta N = \Delta N_{GPSij} - \Delta N_{GRAVij} \quad (9)$$

Os termos representam as diferenças entre as alturas geoidais para todos os pares de pontos.

$$\Delta N_{GPSij} = N_i - N_j = (h_i - H_i) - (h_j - H_j) = \Delta h_{ij} - \Delta H_{ij} \quad (10)$$

sendo Δh_{ij} e ΔH_{ij} respectivamente, as diferenças entre altitudes geométrica e ortométrica nas RNs i e j ; e ΔN_{GRAVij} são as diferenças entre as alturas geoidais obtidas dos modelo avaliados e classificadas em função da distância (Tabela 2).

Tabela 2 - Resumo da avaliação relativa dos modelos geoidais MDG02 e MDG95

Distância (km)	MDG02 (ppm)	Erro (MDG02) (cm)	MDG95 (ppm)	Erro (MDG95) (cm)
5	11,9254	5,9627	8,0677	4,0338
10	11,0978	11,0978	7,7629	7,7629
20	9,6369	19,2738	7,1925	14,3851
30	8,4015	25,2046	6,6707	20,0121
40	7,3569	29,4274	6,1933	24,7731
50	6,4735	32,3674	5,7565	28,7824
100	3,7269	37,2690	4,0706	40,7062
150	2,5393	38,0893	2,9899	44,8485
200	2,0258	40,5152	2,2971	45,9420
250	1,8037	45,0927	1,8530	46,3245
300	1,7077	51,2308	1,5683	47,0482

As diferenças relativas das alturas geoidais (Tabela 2) mostram que, para muitos objetivos, o geóide obtido pode ser usado no nivelamento por satélite através do GPS. Deve-se lembrar que os modelos geoidais avaliados, têm resolução de 5', o que corresponde a uma distância entre os pontos de 10 km. Contudo nas áreas em que existe uma boa cobertura gravimétrica, e a topografia é moderada ou plana como, por exemplo, a região oeste do Estado de São Paulo, é possível obter um erro relativo de magnitude igual ou inferior ao determinado pela expressão ajustada aos dados. Com base nas avaliações realizadas, conclui-se que o posicionamento GPS de RNs, proporciona uma ótima exatidão absoluta, mas em termos relativos, a distribuição dos pontos da rede ainda não é suficiente para proporcionar a mesma eficiência. Em contrapartida, os modelos geoidais determinados com o método de colocação por mínimos quadrados apresentam uma exatidão absoluta pobre, devido a resolução do modelo digital, que é de 5'. Mas, em termos relativos apresenta uma ótima exatidão relativa. O aumento da resolução do modelo geoidal se faz necessário para a região do Estado de São Paulo, assim como, o posicionamento de novas RNs nas áreas onde a distribuição ainda não é adequada.

REFERÊNCIAS

- ANDERSEN, O.B. & KNUDSEN, P. -1998- Global Marine gravity Field from the ERS-1 and GEOSAT Geodetic Mission Altimeter, **Journal of Geophysical Research**, **102**(C4), 8129-8137.
- ENGELIS, T.; RAPP, R.H. & TSCHERNING, C.C. -1984- The precise computation of geoid undulation differences with comparison to results obtained from the global positioning system, **Geophysical Research Letters**, **1**(9):821-824.
- FEATHERSTONE, W.E. -2001- Absolute and relative testing of gravimetric geoid models using Global Positioning System and orthometric height data. **Computers & Geosciences**, 27:807-814.
- FORSBERG, R. -1997- Terrain Effects in Geoid Computations **In: Lectures Notes of the 2nd. International School for the Determination and Use of the Geoid. International Geoid Service**, Rio de Janeiro. 101-134.
- FORSBERG, R. & TSCHERNING, C. C. -1981- The use of Height data in Gravity Field Approximation by Collocation. **Journal of Geophysical Research**. **86** (B9):7843-7854.
- FOTOPOULOS, G., KOTSAKIS, C., SIDERIS, M.G. -1999- Evaluation of Geoid Models and Their Use in Combined GPS/Leveling/Geoid Height Network Adjustment. Technical Reports of the Department of Geodesy and Geoinformatics, Universität Stuttgart, **Report No. 1994.4**.
- HEISKANEN, W. & MORITZ, H. -1967- **Physical Geodesy**. W.H. Freeman., N. York, 364 pp.

- KOTSAKIS, C. SIDERIS, M.G. -1999- On the adjustment of combined GPS/leveling/geoid networks. **Journal of Geodesy** 73: 412-421.
- LEMOINE, F.G.; KENYON, S.C.; FACTOR, J.K.; TRIMMER, R.G.; PAVLIS, N.K.; COX, C.M.; KLOSKO, S.M.; LUTHCKE, S.B.; TORRENCE, M.H.; WANG, Y.M.; WILLIAMSON, R.G.; PAVLIS, E.C.; RAPP, R.H. & OLSON, T.R. -1998- The Development of Joint Nasa, Gsfc and Nima Geopotential Model EGM96. **NASA/TP 206861**.
- MAINVILLE A.; FORSBERG, R. & SIDERIS, M.G. -1992- Global Positioning System Testing of Geoids Computed from Geopotential Models and Local Gravity Data: A Case Study. **Journal of Geophysical Research**, 97(B7): 137-147.
- MORITZ, H. -1980- Advanced Physical Geodesy. Abacus Press, Wichmann, 500 pp.
- SÁ, N.C.DE. -1988- **Modelos estatísticos e representação integrada do campo de gravidade no Brasil**. Tese de Doutorado, IAG/USP, São Paulo, 240 pp.
- SÁ, N.C.de. -1997- A Topographic Model of Brazil Computed from New Elevation Data: *preliminary results*. XVII Congresso Brasileiro de Cartografia, Rio de Janeiro, **Anais resumos**: S2.4-23p.
- SÁ, N.C.de -2002- comunicação pessoal.
- SÁ, N.C.de. & MOLINA, E.C. -1995- O geóide gravimétrico do Estado de São Paulo: resultados preliminares. XVII Congresso Brasileiro de Cartografia, Salvador, **Anais 1**: 124-133.
- SÁ, N.C.de; SOUZA, S.F.de; MÔNICO, J.F.G.; CASTRO, A.L.P.; KRUEGER, C.P. -2001- O GPS no Estado de São Paulo: potencialidades, desafios e estratégias. XX Congresso Brasileiro de Cartografia, Porto Alegre. **Anais (cd-rom)**.
- SOUZA, S.F.de. -2002- **Contribuição do GPS para o aprimoramento do geóide no Estado de São Paulo**. Tese de Doutorado, Curso de pós-graduação em Geofísica do IAG/USP, São Paulo, 204 pp.
- SUBIZA, W.H. -2000- **A determinação de um modelo geoidal de precisão para o Uruguai**. Tese de Doutorado, Curso de pós-graduação em Ciências Geodésicas da Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 161 pp.
- TSCHERNING, C.C. & RAPP, R.H. -1974- Closed covariance expressions for gravity anomalies, geoid undulation and deflections of vertical implied by the anomaly degree covariance models. **Report 208**, The Ohio State University, Columbus, 89 pp.
- WICHENCHAROEN, C. -1982- The indirect effects on the computation of geoid undulation. **Report 336**. The Ohio State University, Columbus, 96 pp.

AGRADECIMENTOS

Os dados utilizados resultaram de vários projetos que contaram com auxílios da FAPESP, PADCT/FINEP e CNPq.

Agradecemos aos programas colocados à nossa disposição por C. C. Tscherning, P. Knudsen e R. Forsberg.

POSICIONAMENTO DE BÓIAS OCEANOGRÁFICAS DE DERIVA ATRAVÉS DE LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA UTILIZANDO SATÉLITES

***Cristina Tobler de Sousa Rae¹**

****Hélio Koiti Kuga²**

1 Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - cristina.tobler@dss.inpe.br

2 Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - hkk@dem.inpe.br

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo apresentar a aplicação do sistema de localização geográfica por satélites, GEOLOC, desenvolvido no INPE, em posicionamento de bóias de deriva lançadas no oceano para fins científicos. Duas bóias de números 32338 e 32339 foram ancoradas nas seguintes latitudes e longitudes aproximadas: 23.7° S e 315.1° W, e 22.9° S e 317.8° W, respectivamente. Estas bóias foram lançadas por pesquisadores do Instituto Oceanográfico da USP, com o objetivo de realizar pesquisas de coleta de dados meteorológicos sobre o oceano. Pela primeira vez, o sistema brasileiro de localização geográfica de transmissores do INPE foi exercitado operacionalmente, obtendo-se como produto final as posições geográficas das bóias em tempo quase-real. O posicionamento geográfico dos transmissores tem por finalidade principal fornecer as informações essenciais para um possível resgate caso estas se desprendam de suas posições de origem. Para a obtenção dos resultados de posicionamento foram utilizados o Satélite de Coleta de Dados (SCD-2) e o Satélite Sino Brasileiro de Recursos Terrestres (CBERS-1). Basicamente, a técnica de geo-localização de transmissores através de satélites necessita de um método de processamento das medidas de desvio Doppler obtidas através do sistema brasileiro de coleta de dados do INPE, em conjunto com a aplicação de técnicas estatísticas de mínimos quadrados por lotes, em tempo quase-real. O processamento das medidas de desvio Doppler foi implementado usando a técnica de ortogonalização de Householder para o procedimento de mínimos quadrados. Com relação às bóias de deriva, o período da campanha de coleta de dados para análises dos resultados teve início em janeiro e término em março de 2003. A precisão do posicionamento para as bóias analisadas foi considerada satisfatória, obtendo para uma análise dos 67% melhores resultados, uma precisão em torno de 3.1km.

Palavras-chave: Geo-Posicionamento; Transmissores; Desvio Doppler.

ABSTRACT

The main goal of this work is to present an application in positioning drift buoys, using the GEOLOC (geographic location of transmitters by satellites) system. The system developed at INPE was applied in positioning of drifting buoys launched in the ocean in order to perform scientific research. Two buoys identified by #32338 and #32339 were anchored in the following approximate latitudes and longitudes: 23.7° S and 315.1° W, and 22.9° S and 317.8° W respectively. These buoys were deployed and launched by researchers of the USP Oceanographic Institute whose goal is the research of meteorologic data collected over the ocean. For the first time, INPE's Brazilian system of geographical location was operationally exercised, being obtained as a final product the buoys geographical positions in near-real-time. The buoy geographical position has the main purpose of supplying essential information for a possible rescue in case these buoys drift from its original positions. To obtain the positioning results, the Brazilian Data Collecting satellite (SCD-2) and the China-Brazil Earth Resources Satellite (CBERS-1) were used. Basically the transmitters geo-location technique through satellites require a method of processing the Doppler shift data obtained through the INPE Brazilian data collection system together with application of least squares statistical techniques in near-real-time. The Doppler shift measurements processing was implemented using a robust Householder orthogonalization technique for the least squares processing procedure. The period of the buoys' data collection was from January to March 2003. The analyzed buoys position precision was satisfactory with 67% of the results around 3.1km from the reference position.

Keywords: Geo-Positioning; Transmitters; Doppler shift.

1. INTRODUÇÃO

As atividades de posicionamento geográfico têm várias aplicações principalmente na Biologia e na Oceanografia. Na Biologia, são fixados mini-transmissores em animais selvagens para monitoramento dos seus deslocamentos e hábitos, conforme exemplo da Figura 01:

FIGURA 01 - TRANSMISSOR PRESO A UMA FOCA.



Na Oceanografia, são lançadas bóias de deriva nos oceanos para acompanhamento do seu deslocamento e monitoramento das correntes marítimas, conforme Figura 02:

FIGURA 02 - MONITORAMENTO DE BÓIAS DE DERIVA.

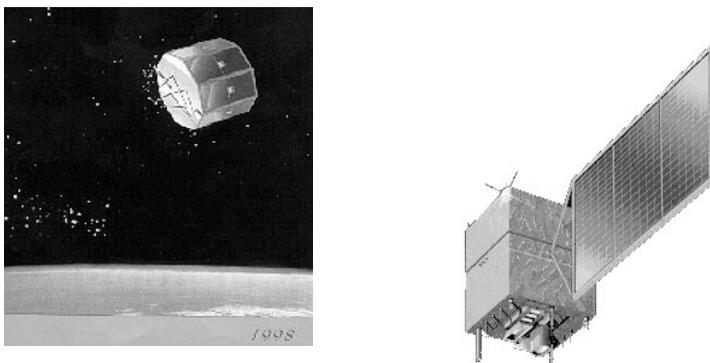


Estas atividades têm aplicações ainda na localização e resgate de aeronaves e embarcações em situações de emergência, e na localização de equipes de pesquisadores do Programa Antártico Brasileiro (PROANTAR) em missões de campo. Normalmente, os participantes são munidos de Mini Transmissores Remotos - MTRs (Setzer, 1997) e realizam trabalhos na inóspita região do continente

Antártico, onde disponibilidades de comunicação são restritas. Outras PCDs (Plataformas de Coleta de Dados) transmissoras são utilizadas para fins marítimos e hidrológicos, como bóias demarcatórias da Petrobrás, e para coleta de dados meteorológicos.

Para a obtenção dos resultados de posicionamento foram utilizados o Satélite de Coleta de Dados (SCD-2) da Missão Espacial Completa Brasileira (MECB) e o Satélite Sino Brasileiro de Recursos Terrestres (CBERS-1), conforme Figura 03. O sistema desenvolvido pode ainda utilizar os satélites da série NOAA (americanos), e outros compatíveis em vias de serem lançados.

FIGURA 03 - SATÉLITE DE COLETA DE DADOS (SCD2) E SINO-BRASILEIRO (CBERS1).



A localização e o posicionamento oferecem aos usuários a possibilidade de se obter, em tempo quase-real, o posicionamento de transmissores fixos em plataformas móveis independente de qualquer fator externo ao País. Isto significa, que o usuário pode adquirir estações de recepção portáteis, que estão sendo fabricadas no Brasil, obtendo então seu próprio sistema de posicionamento, de tecnologia totalmente nacional, dependendo apenas do software de localização e dos satélites em órbita. Similarmente, o sistema francês denominado Argos também provê o serviço de localização para os usuários, mas não em tempo quase-real, com um custo bastante elevado, ficando dependente de tecnologia estratégica externa. Com a certificação do sistema do INPE pelos usuários este será facilmente estendido para uso nacional e internacional.

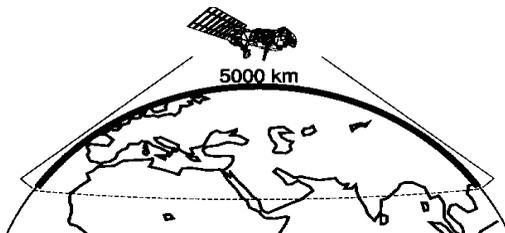
O período da campanha de coleta de dados para análises dos resultados das bóias de deriva foi de janeiro a março de 2003. Resultados estatísticos são apresentados em gráficos e tabelas comparativas. A precisão do posicionamento para as bóias analisadas foi considerada satisfatória para os objetivos previstos obtendo,

em 67% dos resultados, precisão em torno de 3.1km em termos da posição de referência.

2. DESCRIÇÃO DO SISTEMA DE POSICIONAMENTO

Basicamente, a técnica de geo-localização de transmissores através de satélites necessita de um método de processamento das medidas de desvio Doppler obtidas através do sistema brasileiro de coleta de dados do INPE, em conjunto com a aplicação de técnicas estatísticas de mínimos quadrados por lotes (Wertz,1978) em tempo quase-real. Os satélites, que servem como retransmissores do sinal das PCDs para uma estação de recepção, tem a capacidade de receber simultaneamente o sinal de todas as plataformas dentro de um cone sólido com círculo (alcance) de visibilidade de 5.000km para um ângulo de elevação mínimo de 5° (ângulo entre a linha do horizonte e a linha plataforma - satélite), conforme Figura 04:

FIGURA 04 – ÁREA DE VISIBILIDADE DO SATÉLITE.
FONTE: CLS (1989, p. 23)



Durante a passagem do satélite, o transmissor envia os sinais de frequência para o satélite que as retransmite para a Estação de recepção. Em princípio, imediatamente após o término da passagem do satélite, o software do sistema de posicionamento geográfico realiza o processamento das medidas obtendo a posição da Plataforma em menos de um minuto. O processamento das medidas de desvio Doppler foi implementado usando a técnica de ortogonalização de Householder para aplicação do procedimento de mínimos quadrados (Bierman, 1977).

Em geral, o posicionamento de um transmissor (ou Plataforma de Coleta de Dados - PCD) pode ser determinado matematicamente medindo e processando os valores do desvio Doppler dos sinais de frequência transmitidos ao satélite (Sousa, 2000; Sousa et al., 2003). Assim sendo, o efeito Doppler, que depende da posição e velocidade do satélite e da posição do transmissor (na superfície da Terra), fornece a informação necessária para obter a posição do transmissor. A equação do efeito Doppler é dada por (Resnick, 1968):

$$\dot{\rho} = \frac{(f_r - f_t)}{f_t} c \quad (01)$$

onde:

- f_r é a frequência recebida pelo satélite;
- f_t é a frequência de referência (ou nominal) enviada pelo transmissor;
- $(f_r - f_t)$ é o desvio Doppler devido à velocidade relativa transmissor-satélite;
- c é a velocidade da luz;
- α é o ângulo entre o vetor velocidade v do satélite e o de posição do satélite relativa ao transmissor;
- $\dot{\rho} = v \cos \alpha$ é a velocidade do satélite relativa ao transmissor.

Os sinais dos transmissores recebidos pelos satélites SCD-2 e CBERS-1 são imediatamente (em tempo real) retransmitidos para estações de recepção terrestres, onde as medidas Doppler são processadas. Isto acontece quando o círculo visibilidade do satélite inclui uma estação de recepção e o transmissor, simultaneamente.

3. RESULTADOS

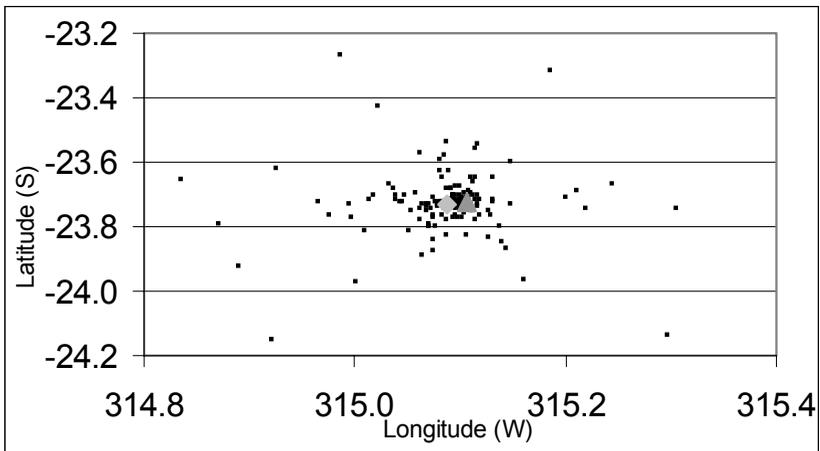
Para se obter os resultados de posicionamento, duas bóias de deriva com transmissores de números 32338 e 32339 foram considerados. Estas foram lançadas e ancoradas no oceano em posições pré-definidas. Foram utilizados dois satélites brasileiros (SCD2 e CBERS1) para a coleta de dados e a estação de recepção localizada em Cuiabá, onde os dados dos satélites são processados e enviados para o Centro de Missão no INPE de Cachoeira Paulista via FTP, onde o algoritmo de localização geográfica processa o resultado desejado.

O período da coleta de dados foi realizado a partir de janeiro de 2003 a 18 de março de 2003. Para a PCD de número 32338 foi adquirido um total de 153 passagens considerando os satélites SCD2 e CBERS1, e para a PCD de número 32339, a quantidade de passagens dos satélites foi de 128.

A distribuição dos resultados em latitude e longitude obtidos para ambas as bóias, se encontram representadas nas Figuras 05 e 06. O eixo x representa a variação da longitude na direção oeste em graus em relação a Greenwich e o eixo y indica a variação da latitude em graus na direção sul em relação à linha do Equador.

Os pontos pretos representam as posições determinadas pelo algoritmo de localização, o triângulo na cor cinza indica a posição de referência aproximada da bóia quando lançada no oceano e o losango na cor cinza clara fornece a posição média de todas as posições calculadas.

FIGURA 05 – DISTRIBUIÇÃO DAS POSIÇÕES DA BÓIA 32338.

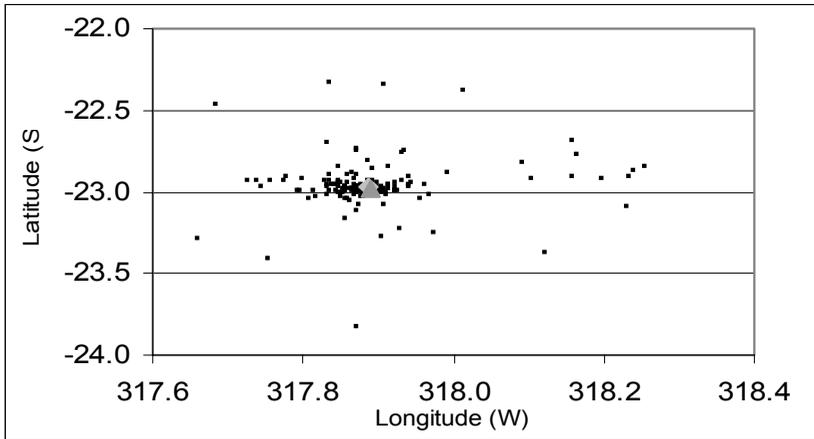


Observando a Figura 05 pode-se notar que a nuvem das posições se encontra concentrada em torno da posição de referência aproximada fornecida pelo usuário (23.7° S e 315.1° W) e da média de todas as posições calculadas (losango cinza claro). A distância entre estas duas posições é de 2km.

O cálculo do erro das localizações (comparação das posições da bóia com a posição de referência: 23.7° S e 315.1° W) considerando todas as passagens foi realizado.

Considerando que a nuvem das localizações seja gaussiana, analisando-se 67% das melhores localizações, obteve-se o valor do erro de localização médio de 3.1km com desvio padrão de 1.7km em torno dessa média.

FIGURA 06 – DISTRIBUIÇÃO DAS POSIÇÕES DA BÓIA 32339.



Na Figura 06, nota-se que a distribuição das posições encontradas é similar à obtida para a PCD #32338 na Figura 05, e a posição de referência (triângulo) é quase coincidente com a média das localizações (losango).

Da mesma forma que no caso anterior, o erro de localização médio cai para 3.1km com desvio padrão de 1.4km ao considerar-se 67% das 128 localizações realizadas.

4. CONCLUSÕES

Assumindo que a nuvem de resultados de localização (153 localizações para a bóia #32338 e 128 para a #32339) segue uma distribuição gaussiana, uma análise dos 67% melhores resultados indica uma precisão em torno de 3.1km. A precisão do posicionamento para as bóias analisadas foi considerada satisfatória para os objetivos previstos obtendo, na maioria das vezes, precisão considerada suficiente para os propósitos em vista. Com isso, o sistema atinge suas expectativas e satisfaz o usuário, que pode concluir se a bóia desprende-se da sua âncora, a fim de preparar um resgate imediato.

Além disso, o usuário pode obter até doze posições diárias de suas bóias considerando os satélites SCD2 e CBERS1, dependente das condições geométricas da visada do satélite em relação à PCD (bóia) e à estação de recepção.

Uma vez adquirida uma estação de recepção portátil e aplicando-se o algoritmo de localização, o usuário torna-se completamente independente de fontes externas, enquanto os satélites brasileiros estiverem em órbita.

5. REFERÊNCIAS

BIERMAN, G. J. **Factorization methods for discret sequential estimation**. New York: Academic Press, 1977. 241 p.

Collection and Location System (CLS). **Service Argos: guide to the Argos System**. Toulouse: Sept., 1989. v. 1.

RESNICK, R. **Introdução à relatividade especial**. New York, Wiley, 1968

SETZER, A. **Manual do Sistema de Dados Remotos**. (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais de São José dos Campos, 1997). Comunicação pessoal.

SOUSA, C. T. **Geolocalização de transmissores com satélites usando desvio Doppler em tempo quase real**. São José dos Campos, 2000. Tese (Doutorado em Engenharia e Tecnologia Espaciais). Divisão de Mecânica e Controle. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

SOUSA, C. T.; KUGA, H. K.; SETZER, A. W. Geo-Location of transmitters using real data, Doppler shifts and Least Squares. **Acta Astronautica**, v. 52, n. 9, p. 915-922, 2003.

WERTZ, R. J. **Spacecraft attitude determination and control**. Dordrecht: D.Reidel, 1978. 858 p.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o suporte da bolsa INPE/PCI #381.588/00-9, o Dr. Luiz Nonnato pelo interesse e confiança em utilizar o sistema de posicionamento, e à FUNCATE pelo auxílio para a apresentação do trabalho no III Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas em Curitiba.

AVALIAÇÃO DE FUNÇÕES PARA MODELAGEM DO EFEITO DA REFRAÇÃO IONOSFÉRICA NA PROPAGAÇÃO DOS SINAIS GPS

Marcelo Tomio Matsuoka¹
Paulo de Oliveira Camargo^{1,2}

- 1 Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas
- 2 Departamento de Cartografia – FCT/UNESP
{tomio,paulo}@prudente.unesp.br

RESUMO

Atualmente, a maior fonte de erro sistemático no posicionamento com receptores GPS de uma frequência é devido à refração ionosférica. O erro associado à refração ionosférica depende do conteúdo total de elétrons (TEC) na camada ionosférica. As mensagens de navegação trazem informações que permitem efetuar correções da ionosfera para receptores GPS de uma frequência, utilizando o modelo de Klobuchar. Porém vários estudos realizados mostraram que o modelo de Klobuchar pode remover apenas algo em torno de 50-60% do efeito total. Desta maneira, é necessário dispor de uma estratégia mais efetiva de eliminar os efeitos da ionosfera. No Brasil, tem-se o modelo regional da ionosfera (Mod_Ion), desenvolvido na FCT/UNESP, que utiliza dados GPS da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC), sendo que a ionosfera é representada analiticamente pela série de Fourier. Nesta pesquisa, outras funções de modelagem e de mapeamento da ionosfera foram implementadas no Mod_Ion, visando melhorar a eficiência do modelo para posicionamento com receptores de uma frequência. Os resultados dos experimentos do posicionamento por ponto mostraram que as funções série de Fourier, de Taylor e a polinomial foram as mais eficazes na correção do efeito sistemático devido à ionosfera, proporcionando uma melhora média na acurácia em altimetria da ordem de 85%.

Palavras-chave: Modelagem da ionosfera; TEC; Posicionamento GPS

ABSTRACT

Nowadays, one of the main drawbacks of the GPS accuracy for L1 users is the ionospheric refraction, which affects, mainly, the point positioning. The error

associated with the ionospheric refraction depends on the Total Electron Content (TEC) in the ionospheric layer. The broadcast ephemeris contains information for computing the group delay, using the broadcast model. The literatures report that the model correct 50 to 60% of the total effect of ionospheric refraction. Therefore, it is necessary a more effective strategy of eliminating the effects of the ionosphere. Some techniques and models have been developed to estimate these effects using data collected with double frequency GPS receivers. In Brazil, a regional model of the ionosphere (Mod_Ion) was developed in FCT/UNESP, which makes use of GPS data collected at the active stations of RBMC (Brazilian Network for Continuous Monitoring of GPS satellites), and ionosphere is represented analytically by a Fourier series type. In this research, other modelling and mapping functions of the ionosphere were implemented in Mod_Ion, seeking to improve the efficiency of the model for positioning with L_1 receivers. The results of the experiments showed that the functions: Fourier series, Taylor series and the polynomial, were the most effective in the correction of the systematic effect due to the ionosphere, providing a improvement in the height accuracy better than 85%,

Keywords: Ionosphere model; TEC; GPS Positioning

1. INTRODUÇÃO

Com a desativação da técnica SA (*Selective Availability* – Disponibilidade Seletiva) a refração ionosférica torna-se a maior fonte de erro sistemático no posicionamento com GPS. O erro associado à refração ionosférica depende do conteúdo total de elétrons (TEC) na camada ionosférica, que por sua vez, é influenciado por diversas variáveis, tais como: ciclo solar, época do ano, hora do dia, localização geográfica e atividade geomagnética (Camargo, 1999).

Os receptores GPS de dupla frequência permitem efetuar correções do efeito de primeira ordem da refração ionosférica, devido ao fato da mesma ser dependente da frequência do sinal. Porém, receptores GPS de dupla frequência são equipamentos caros, fazendo com que os de uma frequência (receptores com a portadora L_1) sejam amplamente empregados no posicionamento com GPS.

A desvantagem da utilização dos receptores GPS de uma frequência é de que os resultados do posicionamento por ponto e do relativo com bases médias e longas, são afetados pelo efeito sistemático devido à ionosfera.

As mensagens de navegação transmitidas pelos satélites do sistema GPS trazem informações que permitem efetuar correções da ionosfera para receptores GPS de uma frequência, utilizando o modelo de Klobuchar (Klobuchar, 1987), também designado de modelo *Broadcast*. Estas informações são os coeficientes *alfa* (α) e *beta* (β) de um polinômio, estimados a partir de uma rede de estações GPS global.

Vários estudos realizados mostraram que o modelo de Klobuchar pode remover apenas algo em torno de 50% a 60% do efeito total (Newby e Langley, 1992; Matsuoka e Camargo, 2002). Desta maneira, é necessário dispor de uma estratégia mais efetiva de eliminar os efeitos da ionosfera, a qual tem sido investigada a partir do uso de modelos regionais para a ionosfera, que representam com maior eficácia o comportamento da ionosfera da região de estudo.

Atualmente, a RBMC conta com 15 estações que coletam dados GPS continuamente com receptores de dupla frequência, sendo uma delas localizada em Presidente Prudente.

Neste sentido, Camargo (1999) desenvolveu um modelo para ionosfera (Mod_Ion), que permite calcular o erro sistemático devido à ionosfera na portadora L1, bem como o TEC, e é representado analiticamente pela série do tipo de Fourier. Os parâmetros são estimados a partir de dados GPS de dupla frequência coletados pelas estações ativas da RBMC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo). Atualmente, a RBMC conta com 15 estações que coletam dados GPS continuamente com receptores de dupla frequência, sendo uma delas localizada em Presidente Prudente. Com o uso dos dados de diversos receptores é possível estimar, também, o erro sistemático devido aos satélites e aos receptores. Os erros sistemáticos em L_1 , devido aos satélites, transmitidos nas mensagens de navegação, não eram estimados adequadamente. A partir de abril de 1999, esses valores passaram a ser calculados corretamente. Assim, pode-se incluir as tendências dos satélites como injunções relativas ou absolutas no Mod_Ion.

O modelo desenvolvido (Mod_Ion) teve sua performance avaliada no posicionamento por ponto utilizando dados GPS da RBMC do ano de 1998, abrangendo 1 semana de cada estação do ano. Os resultados do posicionamento por ponto, com a pseudodistância, utilizando o modelo para corrigir os efeitos sistemáticos da ionosfera na portadora L_1 , para um período de 24 horas, proporcionaram discrepâncias médias na resultante da ordem de 1,61 m. No posicionamento por ponto sem o uso do modelo, esses valores alcançaram, em média, 8,44 m. Isto significa uma melhora de 80,7% nos resultados obtidos utilizando o modelo regional da ionosfera (Camargo, 1999 e Camargo et al., 2000).

O Mod_Ion foi avaliado, novamente, no posicionamento por ponto, porém, durante o período de máxima atividade solar (2000-2001) que ocorre aproximadamente a cada 11 anos e faz com que ocorra um aumento da magnitude do erro devido à refração ionosférica. Mesmo assim, os experimentos realizados mostraram a potencialidade do Mod_Ion, proporcionando uma redução do erro na resultante, devido à ionosfera, de 83,1% (Matsuoka e Camargo, 2002). Nesses experimentos as tendências interfrequências dos satélites foram tratadas como injunções absolutas, pois, nessa época, seus valores já eram transmitidos corretamente nas mensagens de navegação.

Camargo (1999) e Camargo et al. (2000) recomendam a realização de experimentos utilizando-se outras funções para modelar a ionosfera, bem como, de outras funções de mapeamento para calcular o efeito ionosférico na direção vertical.

Neste presente trabalho foram implementadas e avaliadas outras funções de modelagem da ionosfera, objetivando melhorar a eficiência do modelo para o posicionamento com GPS. Entre as funções de modelagem da ionosfera que foram estudadas podem-se citar o harmônico esférico (Kee e Yun, 1998), o polinômio de quarta ordem (Lin, 2001) e a série de Taylor (Schaer, 1999).

2. MODELO REGIONAL DA IONOSFERA (MOD_ION)

A principal técnica para correção do efeito da refração ionosférica é baseada em medidas da pseudodistância ou da fase da portadora, obtidas por receptores de dupla frequência, pois proporcionam correções mais acuradas dos efeitos da refração ionosférica.

O modelo a ser apresentado é baseado na diferença entre as observáveis GPS. Na derivação do modelo, os erros devido ao não sincronismo do relógio do satélite e do receptor, o erro das efemérides e da refração da troposfera, não serão considerados, pois estes efeitos contaminam cada uma das medidas efetuadas, em ambas as frequências, da mesma maneira. Como haverá diferenciação entre as medidas, os mesmos serão cancelados, não comprometendo o resultado do método. Para as pseudodistâncias (P_{1r}^s, P_{2r}^s) originais ou filtradas pela fase da portadora, o modelo é expresso por (Camargo, 1999):

$$F(P_{2r}^s - P_{1r}^s) = I_{1r}^s + F[(S_{p2}^s - S_{p1}^s) + (R_{p2} - R_{p1})_r] + F \varepsilon_{p21} \quad (01)$$

com $F = f_2^2 / (f_1^2 - f_2^2)$, sendo f_1 e f_2 a frequência do sinal em L_1 e L_2 , respectivamente.

A equação (01) é a equação de observação do Mod_Ion utilizada para o cálculo do atraso ionosférico em L_1 (I_{1r}^s) na direção satélite/receptor. Os subscritos e sobrescritos referem-se, respectivamente, as quantidades relacionadas ao receptor (r) e ao satélite (s). As diferenças $(S_{p2}^s - S_{p1}^s)$ e $(R_{p2} - R_{p1})_r$ respectivamente, representam o erro sistemático interfrequência L_1 - L_2 dos satélites e dos receptores e ε_{p21} as diferenças dos demais erros remanescentes. O atraso ionosférico ao longo do caminho satélite/antena receptora é obtido em função do atraso ionosférico na direção vertical (I_{1r}^v) utilizando-se uma função de mapeamento (SF):

$$I_{1r}^s = SF I_{1r}^v \quad (02)$$

Dessa forma, substituindo a equação (02) na (01), tem-se que a equação de observação do Mod_Ion é definida como:

$$F(P_{2r}^s - P_{1r}^s) = SF I_1^v + F[(S_{p2}^s - S_{p1}^s) + (R_{p2} - R_{p1})_r] + F \varepsilon_{p21} \quad (03)$$

No Mod_Ion está implementada a função de mapeamento geométrica padrão (SF), dada por:

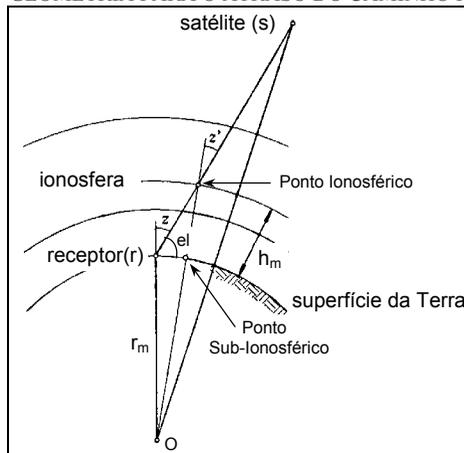
$$SF = \frac{1}{\cos z'}, \quad (04)$$

onde o valor de z' , que representa o ângulo zenital do caminho do sinal em relação a um plano de altitude média (h_m), é obtido de acordo com a seguinte expressão (Hofmann-Wellenhof et al., 1993):

$$\sin z' = \frac{r_m}{r_m + h_m} \sin z \quad (05)$$

sendo r_m é o raio médio da Terra, h_m representa a altura média da ionosfera, que geralmente varia entre 300 e 450 km, e z é o ângulo zenital do satélite ($z = 90^\circ - \text{el}$). A figura 01 ilustra as quantidades envolvidas na equação (05).

FIGURA 01 – GEOMETRIA PARA O ATRASO DO CAMINHO IONOSFÉRICO



Outras duas funções de mapeamento foram implementadas no Mod_Ion. Como nos experimentos realizados por Matsuoka (2003) elas mostraram eficácia similar à função de mapeamento geométrica padrão, portanto, não serão abordadas neste presente trabalho. Mais detalhes quanto as funções de mapeamento implementadas no Mod_Ion encontram-se em Matsuoka (2003).

Devido à natureza periódica do efeito da refração ionosférica, o atraso ionosférico vertical na portadora L_1 (I_1^v), é normalmente modelado por funções matemáticas de superfícies, tais como: séries, polinômios, harmônicos esféricos, etc.

A série de Fourier é a função de modelagem do atraso ionosférico vertical que originalmente já se encontrava implementada no Mod_Ion, sendo que, posteriormente, foram implementadas as funções: harmônico esférico, série de Taylor e polinômio de quarta ordem.

Na seqüência será apresentada a descrição matemática de cada uma dessas funções implementadas no Mod_Ion.

O atraso ionosférico vertical na portadora L_1 é representado pela série de Fourier, da seguinte forma (Camargo, 1999):

$$I_1^v = a_1 + a_2 B^s + \sum_{\substack{i=1 \\ j=2i+1}}^6 \{a_i \cos(ih^s) + a_{j+1} \sin(ih^s)\} + a_{15} B^s h^s. \quad (06)$$

Os termos (a_1, a_2, \dots, a_{15}) são os parâmetros da série. A variável B^s representa a diferença entre as latitudes geográficas da antena receptora e a do ponto sub-ionosférico (projeção da latitude do ponto ionosférico na camada ionosférica de altitude média h_m , sobre a superfície da Terra – figura 01) e a variável h^s é dada por:

$$h^s = \frac{2\pi}{T}(t-14), \quad (07)$$

onde T representa o período de 24 horas e t a hora local do ponto sub-ionosférico.

O harmônico esférico implementado no Mod_Ion, apresentado por Kee e Yun (1998) e adaptado para representar o atraso ionosférico vertical (I_1^v), é da seguinte forma:

$$I_1^v = \sum_{n=0}^3 \left\{ \sum_{m=0}^n \{C_{nm} \cos(mt) + S_{nm} \sin(mt)\} P_{nm}(\sin(\varphi_{mIP})) \right\}, \quad (08)$$

onde:

- $P_{nm}(x)$ – é o polinômio de Legendre;
 Φ_{mIP} – é a latitude geomagnética do ponto ionosférico;
 t – é a hora local do ponto ionosférico (normalizado entre 0 e 2π); e
 C_{nm} e S_{nm} – são os coeficientes da função.

A terceira função de modelagem do atraso ionosférico vertical implementada no Mod_Ion é a série de Taylor, dada por (Schaer, 1999):

$$I_1^v = \sum_{n=0}^3 \sum_{m=0}^3 E_{nm} (B - B_0)^n (s - s_0)^m, \quad (09)$$

sendo:

- B_0, s_0 – são as coordenadas de origem da expansão da série;
 B, s – são as coordenadas do ponto ionosférico; e
 E_{nm} – são os coeficientes da série de Taylor.

Adota-se as coordenadas de origem B_0 e s_0 como sendo, respectivamente, latitude geográfica da antena do receptor e a longitude do Sol médio. Nesse caso, pode-se considerar B como sendo a latitude geográfica do ponto ionosférico e a variável s como sendo:

$$s = TU + \lambda - \pi, \quad (10)$$

onde TU é o tempo universal do ponto ionosférico e λ é a longitude geográfica do ponto ionosférico.

A última função implementada no Mod_Ion é um polinômio de quarta ordem encontrada em Lin (2001), definida como:

$$\begin{aligned}
 I_1^v = & a_0 + a_1 \Phi_{mIP} + a_2 (\lambda_{IP} + TU\omega_e) + a_3 \Phi_{mIP}^2 + a_4 (\lambda_{IP} + TU\omega_e)^2 + a_5 \Phi_{mIP} (\lambda_{IP} + TU\omega_e) \\
 & + a_6 \Phi_{mIP}^3 + a_7 (\lambda_{IP} + TU\omega_e)^3 + a_8 \Phi_{mIP}^2 (\lambda_{IP} + TU\omega_e) + a_9 \Phi_{mIP} (\lambda_{IP} + TU\omega_e)^2 + \\
 & a_{10} \Phi_{mIP}^4 + a_{11} (\lambda_{IP} + TU\omega_e)^4 + a_{12} \Phi_{mIP}^3 (\lambda_{IP} + TU\omega_e) + a_{13} \Phi_{mIP}^2 (\lambda_{IP} + TU\omega_e)^2 + \\
 & a_{14} \Phi_{mIP} (\lambda_{IP} + TU\omega_e)^3, \quad (11)
 \end{aligned}$$

onde:

- Φ_{mIP} – é a latitude geomagnética do ponto ionosférico;
 λ_{IP} – é a longitude do ponto ionosférico;

TU – é o tempo universal do ponto ionosférico;
 ω_e – é a velocidade angular da Terra; e
 a_0, \dots, a_{14} – são os coeficientes do modelo.

Portanto, o Mod_Ion proporciona ao usuário a opção de escolha de quatro funções de modelagem do atraso ionosférico vertical, resultando em quatro formas diferentes para modelagem e correção das observáveis GPS do efeito da refração ionosférica.

O Mod_Ion foi elaborado em FORTRAN Lahey 95. Os parâmetros são estimados em um ajustamento em lote pelo MMQ, utilizando o método das equações de observação com injunção (método paramétrico com injunção).

De uma forma genérica, o número total de parâmetros do Mod_Ion é dado por **coef+r+s**, onde **coef** representa os coeficientes (parâmetros) da função de modelagem do atraso ionosférico vertical escolhida, **r** corresponde aos erros sistemáticos devido à interferência dos receptores, num total igual ao número de receptores utilizados na rede e **s** corresponde a interferência dos satélites, num total igual ao número de satélites rastreados para determinação dos parâmetros do modelo.

Depois de estimados os coeficientes com o programa Mod_Ion, utilizando um conjunto de dados GPS disponíveis das estações da RBMC, pode-se efetuar correções nas observáveis da portadora L_1 , da estação em que se deseja corrigir dos efeitos da ionosfera.

Os arquivos de observações utilizados para calcular os coeficientes, bem como os que serão corrigidos, devem estar no formato RINEX (*Receiver Independent EXchange format*), pois tal fato permite o processamento dos dados em qualquer *software* GPS.

3. EXPERIMENTOS

Com o objetivo de avaliar a performance das funções de modelagem do atraso ionosférico vertical implementadas no Mod_Ion, foram realizados alguns experimentos, e os resultados, bem como a análise, serão apresentados a seguir.

3.1 MODELAGEM E CORREÇÃO DO ATRASO IONOSFÉRICO

Para estimar os parâmetros do Mod_Ion para cada função, foram utilizados os dados GPS coletados nas estações da RBMC, com exceção dos advindos da estação UEPP, que serão corrigidos do efeito da ionosfera, proporcionando, assim, resultados independentes, uma vez que os mesmos serão utilizados na avaliação do

posicionamento por ponto, com o objetivo de verificar a performance das funções de modelagem da ionosfera. O conjunto de dados GPS abrange uma semana de cada estação do ano (verão, outono, inverno e primavera) e, também, o período de máxima atividade solar (2000-2001) e o seu início de declínio (2002), porém, ainda com intensa atividade solar.

Os dados GPS foram processados a cada 30 segundos e com elevação maior ou igual a 15 graus. O valor adotado para a altura média da camada da ionosfera foi de 400 km. As observáveis de pseudodistâncias utilizadas foram filtradas pela fase da portadora. As tendências interfrequências L_1 e L_2 dos satélites, também conhecidas como TGD (*Time Group Delay*), foram tratadas como injunções absolutas. Isto porque, desde abril de 1999, seus valores são calculados corretamente e transmitidos nas mensagens de navegação (efemérides transmitidas) dos satélites.

Utilizando os parâmetros estimados do Mod_Ion, para cada estratégia, foram corrigidas do efeito da ionosfera as pseudodistâncias, advindas do código C/A, dos arquivos GPS da estação UEPP, referentes aos mesmos dias que foram estimados os parâmetros. Como existem 4 estratégias (funções), para cada arquivo de dados GPS da estação UEPP, foram obtidos 4 arquivos corrigidos do efeito da ionosfera.

3.2 AVALIAÇÃO NO POSICIONAMENTO POR PONTO

Para avaliar e comparar a qualidade das funções de modelagem da ionosfera implementadas no Mod_Ion, foi avaliada a performance do posicionamento por ponto, utilizando a pseudodistância advinda do código C/A, com os dados GPS da estação UEPP corrigidos do efeito da ionosfera para cada uma das 4 estratégias adotadas. As coordenadas obtidas foram comparadas com as consideradas verdadeiras da estação UEPP. Também foi realizado o posicionamento por ponto com os dados sem a correção da ionosfera, pois, dessa forma, pode-se analisar a melhora dos resultados após a correção do erro sistemático devido à ionosfera. Os resultados obtidos com os dados corrigidos da ionosfera, para cada uma das estratégias adotadas, foram comparados entre si e com a estratégia sem a correção da ionosfera. Dessa forma, pode-se concluir, com base nos experimentos, qual a função de modelagem proporciona os melhores resultados, ou seja, qual melhor representou o erro devido à ionosfera.

Em suma, os dados GPS da estação UEPP que foram processados no posicionamento por ponto, a partir do código C/A, se dividem, basicamente, em dois grupos:

- sem a correção do efeito da ionosfera (SCI) e
- com a correção do efeito da ionosfera (CCI).

Ainda, o grupo de dados CCI divide-se em 4 sub-grupos distintos, baseados nos tipos de estratégias adotadas no Mod_Ion para a modelagem e correção do efeito da ionosfera (função de modelagem adotada). Logo, tem-se os seguintes sub-grupos de dados CCI e suas respectivas siglas:

- CCI utilizando a série de Fourier : CCI- $I_{(Fou)}$;
- CCI utilizando o harmônico esférico : CCI- $I_{(HE)}$;
- CCI utilizando a série de Taylor : CCI- $I_{(Tay)}$; e
- CCI utilizando o polinômio : CCI- $I_{(Pol)}$;

Para o posicionamento por ponto foram utilizadas as efemérides precisas e as correções do relógio dos satélites, geradas pelo GSD (*Geodetic Survey Division*) do NRCan (*Natural Resources Canada*). Para garantir uma boa geometria dos satélites, foi adotado para a diluição de precisão (GDOP), valor menor ou igual a 7. No processamento foram consideradas apenas as pseudodistâncias coletadas com ângulo de elevação acima de 15 graus e a precisão adotada para a pseudodistância foi de 3 m. O software utilizado foi o GPSPACE (*GPS Positioning from ACS Clocks and Ephemerides*) desenvolvido pelo GSD/NRCan.

Após o processamento dos dados, verifica-se que a maior influência do erro sistemático devido à ionosfera concentra-se na altimetria. A tabela 01 mostra os valores (máximo, mínimo e médio) das discrepâncias entre a altitude geométrica estimada para um período de 24 horas, para cada estratégia, e a conhecida da estação UEPP.

TABELA 01 – VALORES DAS DISCREPÂNCIAS EM ALTITUDE GEOMÉTRICA
Discrepâncias em altitude geométrica (metros)

Valores	SCI	CCI – $I_{(Fou)}$	CCI – $I_{(HE)}$	CCI – $I_{(Tay)}$	CCI – $I_{(Pol)}$
Máximo	25,34	6,77	10,10	9,04	7,42
Mínimo	6,24	0,01	0,01	0,02	0,18
Médio	14,24	2,06	2,61	2,01	2,18
Melhora Obtida (%)		85,5	81,6	85,8	84,6

Analisando os valores da tabela 01 observa-se a melhora significativa na determinação da altitude geométrica após a correção dos dados GPS da estação UEPP do efeito da ionosfera com o uso do Mod_Ion, verificando-se a redução das discrepâncias altimétricas. Verifica-se que todas as estratégias CCI, analisadas no experimento 1, proporcionaram uma melhora maior que 81% em comparação com a discrepância média da altitude geométrica para a estratégia SCI. Com a estratégia sem a correção da ionosfera a discrepância média obtida foi de 14,2 m e chegou a atingir 25,3 m e o menor valor foi de 6,2 m. De um modo geral, após a correção da ionosfera, esses valores atingiram magnitudes bem menores. Para todas as

estratégias CCI, obteve-se um valor médio para a discrepância altimétrica menor do que 2,7 m, e um valor máximo menor do que 10,1 m. Comparando-se as estratégias CCI, observa-se que a série de Fourier, o polinômio e a série de Taylor apresentaram resultados praticamente similares e um pouco melhores que os da estratégia que utiliza o harmônico esférico. Esses valores representam a melhora na acurácia da altitude geométrica média estimada para um período de 24 horas.

A tabela 02 mostra o valor máximo, o mínimo e o médio do erro médio quadrático (EMQ) da altitude geométrica para cada estratégia adotada no experimento 1, bem como, a melhora obtida após a correção do efeito devido à ionosfera.

TABELA 02 – VALORES DO EMQ EM ALTITUDE GEOMÉTRICA

EMQ em altitude geométrica (metros)					
Valores	SCI	CCI – I _(Fou)	CCI – I _(HE)	CCI – I _(Tav)	CCI – I _(Pol)
Máximo	25,36	9,07	18,23	10,67	12,17
Mínimo	7,55	2,16	3,07	2,02	1,95
Médio	16,17	5,05	8,12	5,57	5,54
Melhora Obtida (%)		68,7	49,7	65,5	65,7

Os valores da tabela 02 mostram a potencialidade do Mod_Ion na melhora da acurácia da altitude geométrica estimada em cada época de observação. Comparando-se a média geral da melhora obtida para cada uma das estratégias CCI, em termos de redução dos valores do EMQ na altitude, verifica-se que as estratégias CCI-I_(Fou), CCI-I_(Pol) e CCI-I_(Tav) são bastante similares e melhores que a CCI-I_(HE). Com relação as três melhores estratégias, embora bastante similares, observa-se uma eficiência um pouco melhor utilizando a série de Fourier.

A melhora obtida ficou em torno de 68% com a série de Fourier, de 65% com a série de Taylor e a polinomial, e de 49% com o harmônico esférico. Isto significa uma redução, após a correção do erro devido à ionosfera, no EMQ da altitude geométrica, de 16 m para 5,1 m com a série de Fourier, para 5,6 m com as outras duas melhores, e para 8,2 m com o harmônico esférico, aproximadamente.

Na determinação planimétrica o efeito da ionosfera é bem menor do que na altimétrica. Isso pode ser verificado na tabela 03 que apresenta o valor máximo, o mínimo e o médio da discrepância planimétrica obtida em cada estratégia.

TABELA 03 – VALORES DAS DISCREPÂNCIAS PLANIMÉTRICAS

Discrepâncias planimétricas (metros)					
Valores	SCI	CCI – I _(Fou)	CCI – I _(HE)	CCI – I _(Tav)	CCI – I _(Pol)
Máximo	6,04	5,78	6,20	4,59	6,77
Mínimo	0,11	0,08	0,26	0,09	0,14
Médio	2,44	1,80	2,32	1,80	1,63
Melhora Obtida (%)		26,2	4,9	26,2	33,2

Primeiramente, comparando-se o valor médio da discrepância planimétrica (tabela 03) com o da discrepância altimétrica (tabela 01), para a estratégia SCI, observa-se que o valor altimétrico é bem maior que o planimétrico, comprovando-se a maior influência da ionosfera na determinação altimétrica. Nesse sentido, na tabela 03, as estratégias CCI apresentam valores de melhora na discrepância planimétrica bem menores do que na altimétrica. Tanto, que a estratégia CCI- $I_{(HE)}$ melhorou apenas 4,9% a acurácia da posição planimétrica determinada para um período de 24 horas. As outras estratégias melhoraram algo em torno de 30% a acurácia da posição planimétrica, sendo que na altimétrica esse mesmo valor foi de cerca de 85% (tabela 01).

A tabela 04 mostra o valor máximo, o mínimo e o médio do EMQ da posição planimétrica, bem como, a melhora obtida após a correção do efeito devido à ionosfera.

TABELA 04 – VALORES DO EMQ DA PLANIMETRIA

EMQ planimétrico (metros)					
Valores	SCI	CCI – $I_{(Fou)}$	CCI – $I_{(HE)}$	CCI – $I_{(Tav)}$	CCI – $I_{(Pol)}$
Máximo	11,51	11,02	11,33	9,58	11,62
Mínimo	2,14	0,95	2,02	1,97	1,67
Médio	4,79	4,01	4,71	3,98	3,68

Da mesma forma que ocorreu na discrepância planimétrica, comparando-se os valores de EMQ na tabela 04, não se verifica uma melhora significativa após a correção do erro sistemático devido à ionosfera. Pode-se afirmar que praticamente todos os valores da tabela 04 estão compatíveis com a acurácia proporcionada pelo Serviço de Posicionamento Preciso (PPS), que é de, aproximadamente, 5 a 10 m, com 68,3% de probabilidade.

Nos experimentos pôde-se observar a variação diária e sazonal da ionosfera. Verificou-se que o efeito máximo diário da ionosfera ocorreu, aproximadamente, às 17 horas TU (\cong 14 horas local), e o menor, aproximadamente, às 8 horas TU (5 horas local). Quanto à variação sazonal, verificou-se que o mês de abril (outono) proporcionou os maiores valores de discrepâncias e o mês de julho (inverno) os menores. A descrição detalhada desse experimento está em Matsuoka (2003).

4. CONSIDERAÇÕES E CONCLUSÕES

De uma forma geral, com os resultados obtidos observou-se uma melhora na acurácia do posicionamento por ponto ao utilizar o Mod_Ion para a correção dos dados GPS do efeito sistemático da ionosfera. As quatro funções de modelagem da ionosfera implementadas no Mod_Ion se mostraram eficazes na modelagem e correção do erro devido à ionosfera, sendo que, a série de Fourier, a polinomial e a

série de Taylor apresentaram os melhores resultados e praticamente iguais entre si e melhores que a função representada pelo harmônico esférico.

Nos experimentos concluiu-se que a maior influência do erro sistemático devido à ionosfera é na determinação altimétrica. De um modo geral, todas as estratégias CCI, proporcionaram uma melhora maior que 81% em comparação com a discrepância média da altitude geométrica para a estratégia SCI. Com a estratégia sem a correção da ionosfera a discrepância média obtida foi de 14,2 m e a máxima de 25,3 m. Após a correção da ionosfera, as discrepâncias altimétricas foram bem menores. Para todas as estratégias CCI os valores médios e máximos foram menores do que 2,7 m e 10,1 m, respectivamente. Quanto ao EMQ altimétrico, houve uma melhora de 49% com a estratégia que utiliza o harmônico esférico, e de 65%, aproximadamente, utilizando as três melhores funções. Esses valores representam uma redução média, após a correção do erro devido à ionosfera, de 16 m para 8 m com a que utiliza o harmônico esférico, e para 5,5 m com as outras três funções.

Como o efeito da ionosfera não influencia significativamente a determinação planimétrica, pôde-se concluir que houve pouca melhora na acurácia da determinação planimétrica após o uso do Mod_Ion. A melhora média máxima na discrepância planimétrica foi de 33% com a estratégia que utiliza o polinômio, de 26% com a série de Taylor e a Fourier, e de 5% com a que utiliza o harmônico esférico.

Em trabalhos futuros visa-se adaptar o Mod_Ion para correção da ionosfera em aplicações em tempo real e estudar uma forma de elaborar um modelo que só possua como incógnita o efeito da ionosfera, eliminando a dependência com relação aos erros devido ao hardware do satélite e do receptor.

5. REFERÊNCIAS

CAMARGO, P.O. **Modelo regional da ionosfera para uso em posicionamento com receptores de uma frequência**. Curitiba, 1999. 191f. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas). Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná.

CAMARGO, P.O.; MONICO, J.F.G.; FERREIRA, L.D.D. Application of ionospheric corrections in the equatorial region for L1 GPS users. **Earth, Planets and Space**, Japão, v.52, n.11, p.1083-1089, 2000.

HOFMANN-WELLENHOF, B.; LICHTENEGGER, H.; COLLINS, J. **Global Positioning System Theory and Practice**. 2.ed. New York: Springer-Verlag, 1993. 326p.

KEE, C.; YUN, D. Development of real-time SNUDGPS via ionospheric and tropospheric corrections. In: **Proceedings of the 11th International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation - ION GPS-98** - CD-ROM, Nashville, Tennessee, Sept. 15-18, 1998.

KLOBUCHAR, J.A. Ionospheric time-delay algorithm for single-frequency GPS users, **IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems**, v.AES-23, n.3, p.325-331, 1987.

LIN, L.. Remote sensing of ionosphere using GPS measurements. In: **22nd Asian Conference on Remote Sensing** – CD ROM, Singapore, Nov. 5-9, 2001.

MATSUOKA, M.T.; CAMARGO, P.O. Correção ionosférica utilizando o modelo de Klobuchar e o modelo regional da ionosfera: avaliação da performance no posicionamento por ponto. In: **Anais do Simpósio Brasileiro de Geomática** – CD-ROM, Presidente Prudente/SP, Brasil, 9 a 13 de julho, p.52-60, 2002.

MATSUOKA, M.T. **Avaliação de funções para modelagem do efeito da refração ionosférica na propagação dos sinais GPS**. Presidente Prudente, 2003. 164f. Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas) – Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista.

NEWBY, S.P.; LANGLEY, R.B. Three alternative empirical ionospheric models - are they better than GPS broadcast model?. **Proceeding of the Sixth International Geodetic Symposium on Satellite Positioning**, Columbus, OH, USA, Mar. 16-20, v.1, p.240-244, 1992.

Schaer, S. **Mapping and predicting the earth's ionosphere using the Global Positioning System**. Bern, Switzerland, 1999. 205f. Ph.D. dissertation. University of Bern.

6. AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi desenvolvido com recursos financeiros da FAPESP (Mestrado – Proc. 01/01078-6), com os dados GPS da RBMC fornecidos pela Diretoria de Geodésia do IBGE e com as efemérides precisas e correções dos relógios dos satélites fornecidos pelo GSD/NRCan do Canadá.

COMPORTAMENTO DA ELÍPSE DOS ERROS QUANDO DA APLICAÇÃO DE ROTAÇÃO DE 360°

Wilson Alcântara Soares¹
Cláudia Pereira Krueger²
Camil Gemael³

^{1,2,3}Universidade Federal do Paraná

¹Soares@fisica.ufpr.br; ²Krueger@geoc.ufpr.br

RESUMO

Este trabalho, mais voltado para o ensino do que para a pesquisa científica, apresenta os conceitos básicos exigidos para a compreensão das Elipses dos Erros. Quando da determinação das coordenadas planas de pontos, do ajustamento pode-se obter as coordenadas ajustadas de cada um dos pontos e, para cada um deles, a correspondente matriz variância-covariância (Σ_{xy}). A matriz Σ_{xy} está relacionada ao sistema de coordenadas XY. Ao ser aplicada uma rotação θ , novas coordenadas são obtidas, em um sistema X'Y' e, conseqüentemente, uma nova matriz variância-covariância, $\Sigma_{x'y'}$. Diversos autores mostram que, por meio dos auto valores e auto vetores da matriz Σ_{xy} , é possível determinar o ângulo de rotação que faz com que as variâncias sejam máximas ou mínimas, é o ângulo de rotação crítico. Neste trabalho é mostrado o cálculo do ângulo crítico por meio da condição de que a covariância deva ser nula, quando de uma rotação igual à crítica, chegando-se aos mesmos resultados obtidos pelos meios tradicionais de cálculo. Com exemplos numéricos, calcula-se o ângulo crítico de rotação do sistema e a correspondente $\Sigma_{x'y'}$. É traçada a elipse relativa à Σ_{xy} e a $\Sigma_{x'y'}$ e, em outro gráfico, é feita uma rotação do sistema de 360°. Neste gráfico são traçadas a variância relativa ao eixo X, a variância relativa ao eixo Y e a covariância, tudo em função do ângulo θ . Esta representação gráfica facilita a compreensão e a análise do comportamento geral das matrizes variância-covariância, onde é possível verificar uma série de particularidades, como por exemplo, a alternância dos máximos e mínimos das variâncias, a cada 90° de rotação do sistema.

Palavras-chave: Elipse dos erros; Matriz Variância-covariância; Ângulo crítico.

ABSTRACT

The main goal of this reserach is to analyze the basic principles of the “Error Ellipsis” comprehension. In the plane points coordinates determination, the adjustment can give the adjusted coordinates for each point and, for each one of them, the corresponding variance-covariance matrix (Σ_{xy}). The Σ_{xy} is related to the XY coordinate system. Applying the θ rotation angle to the system, new coordinates are obtained - in the X'Y' system and consequently in the new variance-covariance matrix $\Sigma_{x'y'}$. Several authors show that it is possible to determine the rotation angle where the variances can be minimum (or maximum), by using self vector and self values. This angle is called “critical angle”. In this research it is shown, that it is possible to calculate the critical angle under the condition of the covariance being zero if the system is rotated of this angle. By using numerical examples, the critical angles and the corresponding variance-covariance matrix are calculated. With the Σ_{xy} and $\Sigma_{x'y'}$ matrix elements the error ellipsis are calculated and plotted in the same graphic. In another graphic a complete rotation (360°) is applied and the variances and the covariances are shown. This graphic representation permits to analyze the general behavior, where it is possible to verify some particularities, for example the alternation of the maximum and minimum values of the variances for each 90° rotation angles, related to the critical angle.

Keywords: Error ellipsis; Variance-covariance matrix; Critical angle.

1. INTRODUÇÃO

Quando se trabalha na determinação das coordenadas planas de pontos, o ajustamento fornece essas coordenadas e a correspondente matriz variância-covariância (Σ_{xy}), para cada um dos pontos ajustados.

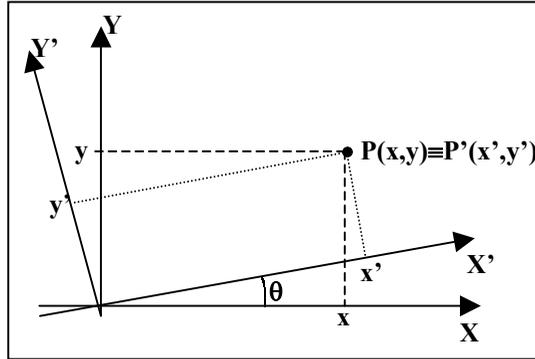
$$\Sigma_{xy} = \begin{bmatrix} \sigma_x^2 & \sigma_{xy} \\ \sigma_{xy} & \sigma_y^2 \end{bmatrix} . \quad (1.1)$$

A matriz Σ_{xy} está relacionada ao sistema de coordenadas XY. Uma rotação de θ em torno de um eixo perpendicular ao plano xy, fig. 1.1, corresponde à aplicação da equação matricial dada pela equação:

$$R(\theta) = \begin{bmatrix} \cos \theta & \text{sen} \theta \\ -\text{sen} \theta & \cos \theta \end{bmatrix} . \quad (1.2)$$

As novas coordenadas, obtidas por aplicação desta rotação, correspondem à x' e y' , que podem ser calculadas por:

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \mathbf{R}(\theta) \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} \quad (1.3)$$

Figura 1.1 – Rotação de θ 

A aplicação da eq. 1.3 resultaria em:

$$x' = x \cdot \cos \theta + y \cdot \text{sen} \theta \quad \text{e}, \quad (1.4)$$

$$y' = -x \cdot \text{sen} \theta + y \cdot \cos \theta \quad . \quad (1.5)$$

2. PROPAGAÇÃO DAS COVARIÂNCIAS

Naturalmente que a matriz variância-covariância do ponto P neste novo sistema de coordenadas $X'Y'$, não é a mesma do sistema XY , porém ela pode ser obtida por aplicação da lei de propagação das covariâncias, expressa abaixo.

$$\sum_{x'y'} = \mathbf{D} \sum_{xy} \mathbf{D}^T \quad (2.1)$$

A matriz \mathbf{D} é obtida do modelo matemático que relaciona os dois sistemas de coordenadas, eqs. 1.4 e 1.5, por meio das suas derivadas parciais em relação à x e a y , resultando:

$$\mathbf{D} = \begin{bmatrix} \frac{\partial x'}{\partial x} & \frac{\partial x'}{\partial y} \\ \frac{\partial y'}{\partial x} & \frac{\partial y'}{\partial y} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & \text{sen} \theta \\ -\text{sen} \theta & \cos \theta \end{bmatrix} = \mathbf{R}(\theta) \quad (2.2)$$

A aplicando-se a propagação, têm-se:

$$\sum_{x'y'} = \begin{bmatrix} \cos \theta & \text{sen} \theta \\ -\text{sen} \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \sigma_x^2 & \sigma_{xy} \\ \sigma_{xy} & \sigma_y^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \theta & -\text{sen} \theta \\ \text{sen} \theta & \cos \theta \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sigma_{x'}^2 & \sigma_{x'y'} \\ \sigma_{x'y'} & \sigma_{y'}^2 \end{bmatrix},$$

cujos desenvolvimentos fornece as equações:

$$\sigma_{x'}^2 = \sigma_x^2 \cdot \cos^2 \theta + \sigma_y^2 \cdot \sin^2 \theta + 2 \cdot \sigma_{xy} \cdot \sin \theta \cdot \cos \theta \quad (2.3)$$

$$\sigma_{y'}^2 = \sigma_x^2 \cdot \sin^2 \theta + \sigma_y^2 \cdot \cos^2 \theta - 2 \cdot \sigma_{xy} \cdot \sin \theta \cdot \cos \theta \quad (2.4)$$

$$\sigma_{x'y'} = -(\sigma_x^2 - \sigma_y^2) \cos \theta \cdot \sin \theta + \sigma_{xy} \cdot (\cos^2 \theta - \sin^2 \theta) \quad (2.5)$$

As variâncias relativas ao sistema $X'Y'$ são dependentes do ângulo de rotação θ . Em função deste ângulo, elas deverão passar por valores máximos e mínimos.

2.1- Máximos e Mínimos das Variâncias

A pesquisa de máximos e mínimos normalmente é feita por meio das equações 2.3 e 2.4. Segundo Gemael (1994, p. 227-229), após imposta a condição de máximos/mínimos e correspondentes análises, é demonstrado que os **ângulos de rotação críticos** são calculados por meio da equação:

$$\operatorname{tg}(2\theta) = \frac{2 \cdot \sigma_{xy}}{\sigma_x^2 - \sigma_y^2} \quad (6)$$

A equação 2.6 admite duas raízes, θ e $\theta + 90^\circ$, que correspondem aos valores máximo e mínimo. É importante observar que eles estão defasados de 90° .

A análise dos quadrantes, que também é uma alternativa para a determinação dos ângulos críticos pode ser feita por:

$$\operatorname{sen}(2\theta) = \frac{2 \cdot \sigma_{xy}}{\sqrt{4 \cdot \sigma_{xy}^2 + (\sigma_x^2 - \sigma_y^2)^2}} \quad (2.7)$$

$$\operatorname{cos}(2\theta) = \frac{\sigma_x^2 - \sigma_y^2}{\sqrt{4 \cdot \sigma_{xy}^2 + (\sigma_x^2 - \sigma_y^2)^2}} \quad (2.8)$$

Análise semelhante à anterior pode ser feita por meio dos auto valores e auto vetores da matriz Σ_{xy} , original. Leick (1995, 2ª ed., p.149-155), apresenta uma interessante análise, chegando às equações 2.6, 2.7 e 2.8 por meio dos auto valores e auto vetores da matriz Σ_{xy} . Gemael (1994, p. 234) também faz uma análise por meio dos auto valores e vetores, onde mostra que os auto valores propiciam a determinação das dimensões da matriz variância covariância e os auto vetores permitem a determinação da sua orientação. Sugere-se que seja vista a análise feita por Strange e Borre no livro “Linear Algebra, Geodesy, and GPS”, 1997, p. 337-341. que também faz uso dos auto valores e vetores.

Embora a maioria dos autores estudados dêem uma especial atenção ao estudo desta matéria por meio dos auto valores e auto vetores, também recomenda-se este

assunto em Bonford (1983, p. 718-723), que apresenta o assunto sem o uso dos auto valores e auto vetores.

3. DETERMINAÇÃO DO ÂNGULO CRÍTICO POR MEIO DA COVARIÂNCIA

A equação 2.6 foi determinada por meio da equação 2.3, onde foi imposta uma condição de limites máximos e mínimos.

Foi verificado que em toda a literatura estudada, somente se trabalhava com a eq. 2.3 ou com os auto valores e auto vetores. Não foi vista nenhuma análise sobre a equação 2.4 e nem mesmo sobre a equação 2.8. Tendo-se uma certa curiosidade com relação às correlações, as quais são expressas por meio das covariâncias, faz-se o seguinte raciocínio:

“Se as correlações influenciarem na dispersão das medidas efetuadas e, se as covariâncias forem nulas, as medidas estarão menos dispersas e as variâncias serão mínimas (ou máximas) “.

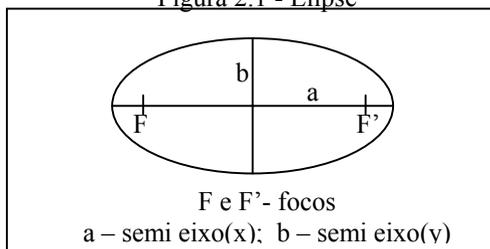
Para verificar se é verdadeira a afirmação acima, basta supor a situação onde se procura o ângulo onde não exista correlação. Para tanto basta igualar a equação 2.5 a zero.

$$\begin{aligned}
 -(\sigma_x^2 - \sigma_y^2) \cos \theta \cdot \text{sen} \theta + \sigma_{xy} \cdot (\cos^2 \theta - \text{sen}^2 \theta) &= 0 \\
 (\sigma_x^2 - \sigma_y^2) \cos \theta \cdot \text{sen} \theta &= \sigma_{xy} \cdot (\cos^2 \theta - \text{sen}^2 \theta) \\
 \frac{\cos \theta \cdot \text{sen} \theta}{\cos^2 \theta - \text{sen}^2 \theta} &= \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x^2 - \sigma_y^2} \\
 \frac{2 \cdot \cos \theta \cdot \text{sen} \theta}{2 \cdot (\cos^2 \theta - \text{sen}^2 \theta)} &= \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x^2 - \sigma_y^2} \\
 \frac{\text{sen} 2\theta}{\cos 2\theta} &= \frac{2 \cdot \sigma_{xy}}{\sigma_x^2 - \sigma_y^2} \\
 \text{tg} 2\theta &= \frac{2 \cdot \sigma_{xy}}{\sigma_x^2 - \sigma_y^2}
 \end{aligned}$$

4. DETERMINAÇÃO DA ELÍPSE DOS ERROS

A elipse, fig. 2.1, é o lugar geométrico dos pontos cuja soma dos segmentos que o une a dois pontos fixos, que são os focos, é constante.

Figura 2.1 - Elipse



A equação da elipse, em função dos seus semi eixos, é:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} = 1 \quad (3.1)$$

Na elipse dos erros os semi eixos são calculados da seguinte maneira:

Da equação 1.1, têm-se:

$$\Sigma_{xy} = \begin{bmatrix} \sigma_x^2 & \sigma_{xy} \\ \sigma_{xy} & \sigma_y^2 \end{bmatrix},$$

calcula-se o termo auxiliar, M (Gemael, 1994, p.235);

$$M = \sqrt{4 \cdot \sigma_{xy}^2 + (\sigma_x^2 - \sigma_y^2)^2} \quad (3.2)$$

As expressões que permitem calcular os semi eixos, são:

$$a = \max \sigma = 0,5(\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + M) \quad (3.3)$$

$$b = \min \sigma = 0,5(\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - M) \quad (3.4)$$

5. EXEMPLOS

Com o conhecimento dos semi-eixos, a elipse pode ser traçada. Neste trabalho foram feitos exemplos com simulações onde foram propostas algumas matrizes variância-covariância (2x2). Para cada uma das Σ_{xy} , foram efetuados passos a seguir descritos, sendo que, os cálculos e traçados gráficos foram feitos com o aplicativo Excel.

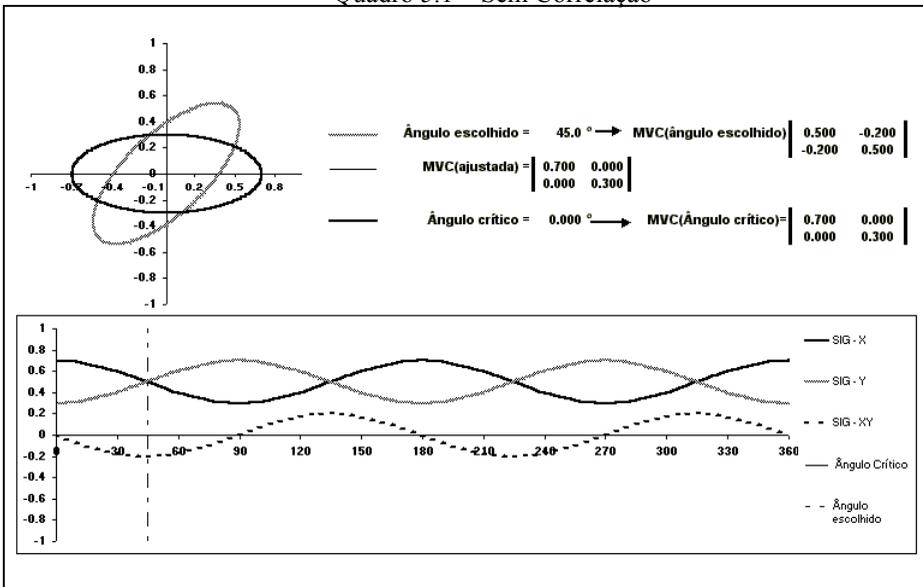
- 1- Proposta dos elementos da Σ_{xy} , que foi denominada de MVC(ajustada);
- 2- traçado da elipse dos erros relativa à esta matriz;
- 3- cálculo do ângulo de rotação crítico;

- 4- cálculo da matriz variância-covariância relativa ao ângulo crítico de rotação, denominada de MVC($\hat{\text{Ângulo crítico}}$);
- 5- traçado da elipse dos erros da MVC($\hat{\text{Ângulo crítico}}$);
- 6- escolha de um ângulo de rotação;
- 7- cálculo da MVC($\hat{\text{Ângulo escolhido}}$);
- 8- traçado da elipse dos erros relativa à MVC($\hat{\text{Ângulo escolhido}}$);
- 9- traçado dos valores assumidos pelas variâncias (SIG-X e SIG-Y) e das covariâncias (SIG-XY), quando de uma rotação de 360° ;
- 10- traçado de dois segmentos de reta que assinalam os valores do ângulo crítico e do ângulo escolhido.

5. 1. Exemplo 1- Sem Correlação

No primeiro exemplo, foi suposto uma matriz variância-covariância com a variância de X 0,7 , de Y, 0,3 e sem correlação.Com esses elementos foi montada a matriz denominada por MVC(ajustada), conforme o quadro. 5.1. Escolheu-se um valor, arbitrário, de 45° para efetuar a rotação da elipse dos erros.

Quadro 5.1 – Sem Correlação



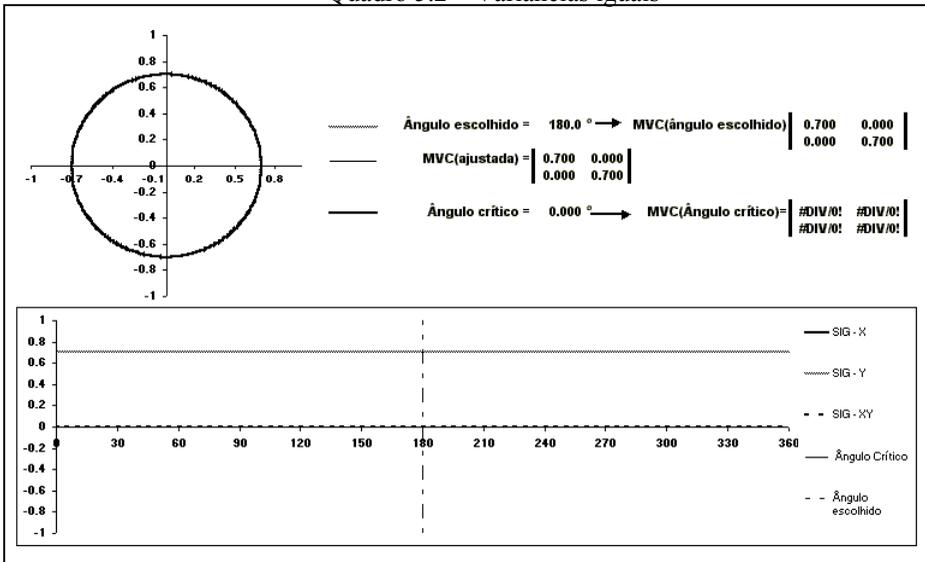
Uma análise criteriosa do quadro acima informa que, quando a não houver correlação, o ângulo crítico é nulo (menor determinação), mas que se repete a cada 90° . Também verifica-se que, para cada valor mínimo de uma das variâncias, a outra

será máxima. No ângulo crítico, a matriz variância-covariância é igual à matriz original, a ajustada.

5. 2. EXEMPLO 2- Variâncias Iguais

Neste exemplo, a matriz ajustada é suposta com variâncias iguais e sem correlação. Ora, a circunferência é um caso particular de elipse, onde os semi eixos são iguais. Observa-se que o ângulo crítico de rotação resulta indefinido, bem como a sua correspondente matriz variância-covariância. Para qualquer ângulo de rotação que se deseje, ter-se-á sempre a mesma matriz calculada, exceto no crítico, pois os valores das variâncias serão constantes, conforme apresentado no quadro. 5.2.

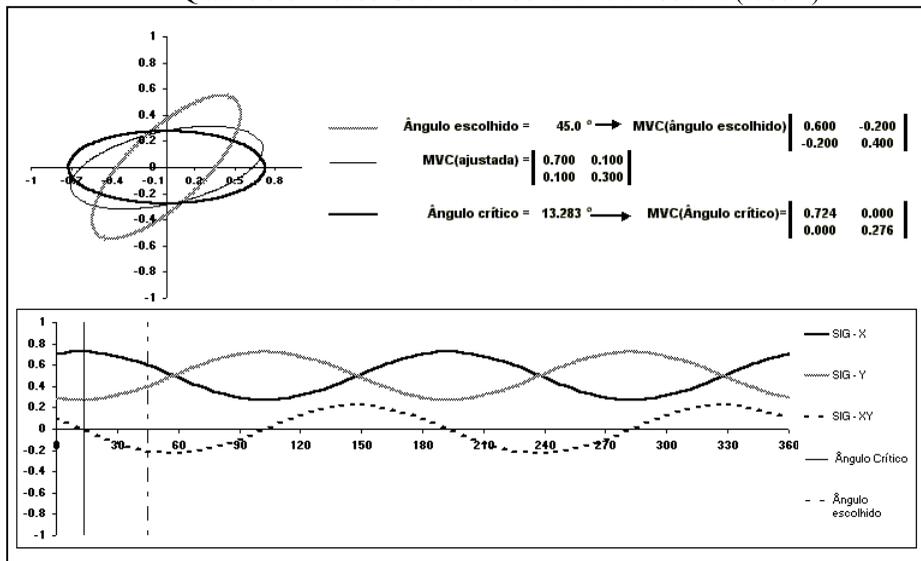
Quadro 5.2 – Variâncias iguais



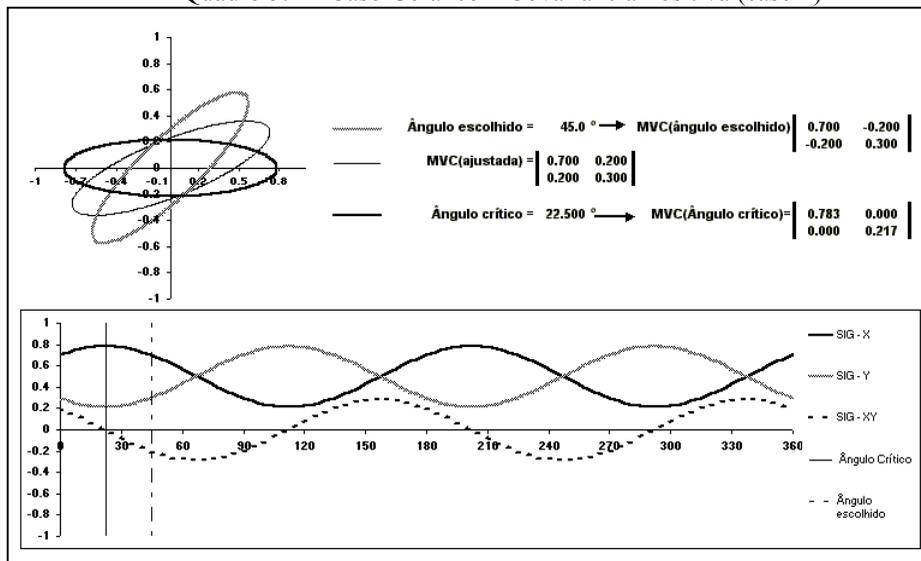
5. 3. Exemplo 3- Caso Geral, Com Covariância Positiva

Agora optou-se por propor os elementos da matriz ajustada de maneira que as variâncias fossem 0,7 e 0,3 e a covariância 0,1, no quadro 5.3 e 0,2 no quadro 5.4. Sugere-se que o leitor analise os quadros e tire as suas conclusões. Em ambos os quadros foi traçada a elipse relativa à rotação escolhida, para rotação de 45° .

Quadro 5.3 – Caso Geral com Covariância Positiva (caso 1)



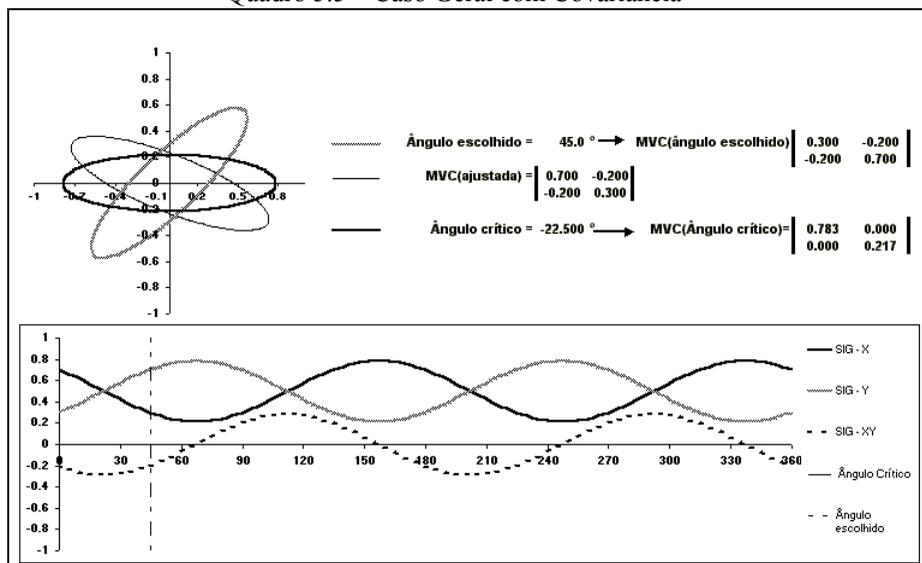
Quadro 5.4 – Caso Geral com Covariância Positiva (caso 2)



5. 4. Exemplo 4- Caso Geral, Com Covariância Negativa

Optou-se por manter as variâncias do exemplo anterior e propor a situação com a covariância simétrica, em relação ao quadro 5.5. Verifica-se que houve uma inversão nas variações das variâncias, isto é, a variância de X que no caso anterior, aumentava, no início das abscissas, agora diminui, ocorrendo o oposto com a variância de Y.

Quadro 5.5 – Caso Geral com Covariância



5. 5. Exemplo 5

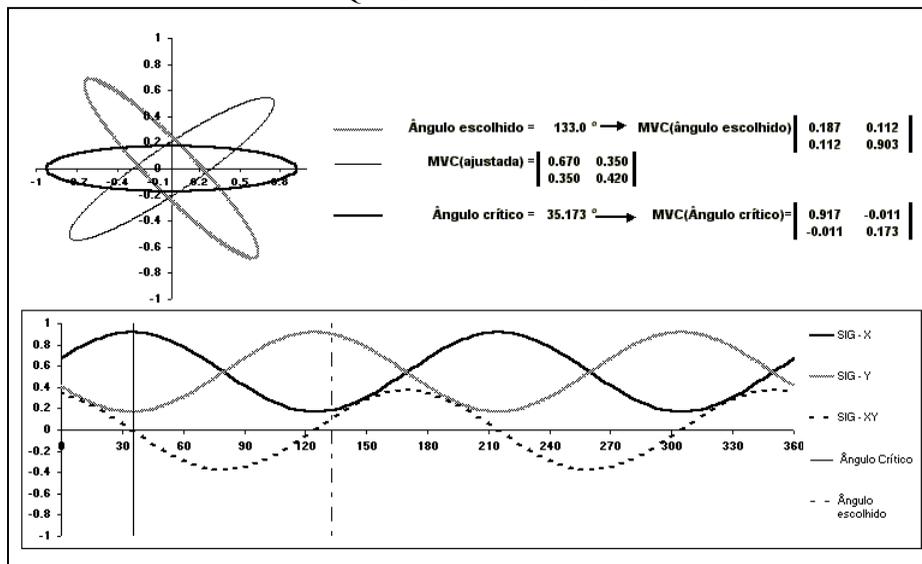
Mais uma situação é proposta, onde não se procura apresentar nenhum caso particular, estando os correspondentes gráficos no quadro 5.6.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Muitas outras situações poderiam ter sido analisadas, o que tornaria este trabalho muito extenso. Os autores entendem que o principal objetivo foi atendido com os exemplos apresentados, pois é possível analisar o comportamento das variâncias e das covariâncias com uma rotação de 360° da elipse dos erros. Também facilmente se verifica a proposta de análise, quando da determinação do ângulo crítico, feita por meio da covariância, supondo-a como sendo nula. Um fator importante, e que merece um estudo especial, é que quando uma das variâncias é

mínima, a outra é máxima. Sugere-se que seja feito um estudo de desenvolvimento de critérios onde seja possível determinar ângulos de rotação que permitam determinar valores “ótimos”, segundo esses critérios, para as variâncias e/ou covariâncias.

Quadro 5.7 – Caso Geral



7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BONFORD, G. **Geodesy**

3. Ed. Oxford: Oxford University Press, 1971.

GEMAEL, C. **Introdução ao ajustamento de observações: aplicações geodésicas**

1. Ed. Curitiba: Editora UFPR, 1994. 319 p.

LEICK, A. **GPS Satellite surveying**

2. Ed. NY: John Wiley e Sons, Inc. 1995, 560 p.

STRANGE, G.; BORRE, K. **Linear algebra, geodesy and GPS**

1. Ed. Wellesley: Cambridge Press, 1997

CORRELAÇÃO SNR E MULTICAMINHO NA FASE DAS PORTADORAS GPS

Julio Cesar Farret¹
Marcelo Carvalho dos Santos²
Carlito Vieira de Moraes³
Isaias Salin Farret⁴
Márcio José Barbieri⁵
Cláudio Pereira dos Santos⁶

- 1 Universidade Federal de Santa Maria – cfarret@smail.ufsm.br
2 University of New Brunswick – msantos@unb.ca
3 Universidade Federal de Santa Maria – carlito@smail.ufsm.br
4 Universidade Federal de Santa Maria – saias@ccr.ufsm.br
5 Universidade Federal de Santa Maria – marcio030778@smail.ufsm.br
6 Centro Universitário Franciscano – claudiopereira@terra.com.br

RESUMO

O multicaminho é o fenômeno pelo qual o sinal GPS chega à antena do receptor por caminhos secundários (não o direto), ou seja, após refletir em objetos mais ou menos próximos da antena. Essas interferências também podem ocorrer diretamente no caminho satélite-receptor, causando erros nas medidas de pseudodistâncias e de fase das portadoras (Wells, 1986). O fato do multicaminho não estar totalmente dominado pela comunidade científica, a baixa quantidade de pesquisas neste assunto no Brasil e a grande necessidade de atenuar e quantificar esse efeito nas medidas GPS, motivaram a realização desse trabalho. Propõem-se aqui uma metodologia baseada no estudo dos parâmetros indicadores da SNR, sua relação com a altura dos satélites em relação ao horizonte das antenas e o multicaminho. Indicativos da relação entre ruído e multicaminho são dados por Farret (2000), bem como da relação entre SNR e altura dos satélites em relação ao horizonte das antenas são dados por Parkinson (1996). A metodologia empregada baseou-se na relação entre os parâmetros indicadores da potência do sinal GPS e a presença de multicaminho nesses sinais, bem como com os ângulos de elevação dos satélites visíveis à antena do usuário. Os parâmetros de potência dos sinais analisados foram a razão sinal-ruído (SNR) e razão densidade sinal/ruído (C/N_0). Esses dados foram extraídos de arquivos de observação tipo RINEX e ASCII. Os sinais com multicaminho e as trajetórias (elevação e azimute) dos satélites foram extraídos conforme a metodologia da alta correlação de sinais em duas antenas próximas apresentada por Farret (2000). Os resultados obtidos mostram uma grande relação direta de cerca de 70% entre a potência do sinal com a elevação dos satélites e inversa em relação aos erros de multicaminho. Os resultados ainda permitem subsidiar a escolha de máscaras de trabalho mais apropriadas, conforme a precisão exigida.

Palavras-chave: GPS; Multicaminho; Ruído

ABSTRACT

The multipath is the phenomena that the signals arriving to GPS antennas after reflections in near or far surfaces. The few approaches in multipath mitigation, especially in Brazil, is the motivation for this work. The goal is a methodology based on SNR parameters and the relation with satellites elevations and multipath. There are indicators about this relations by Farret (2000) and Parkinson (1996). The methodology is based in the relation power signal paramaters-satellite elevation-multipath. The parameters are signal-to-noise ratio (SNR) and density signal-to-noise ratio (C/N_0). The data are extracted from observation files type Rinex and ASCII. The multipath signals and satellite routes (elevation and azimuths) come from the high correlation in the two closely-spaced antennas approach by Farret (2000). The results shows a high direct relation (70%) between the signal power and satellite elevation, and a high inverse relation between them and the multipath. The results also helps a choose of the mask angles in surveys.

Keywords: GPS; Multipath; Noise

1. INTRODUÇÃO

Segundo Ray (1999), as medidas de distâncias por código e fase das portadoras, além da razão sinal/ruído (SNR), são afetadas pelo multicaminho, e estão correlacionadas com o intervalo de tomada das medidas e geometria espacial entre os satélites e a antena do receptor.

Propõem-se aqui uma metodologia baseada no estudo dos parâmetros indicadores da SNR, sua relação com a altura dos satélites em relação ao horizonte das antenas e o multicaminho. Indicativos da relação entre ruído e multicaminho são dados por Farret (2000), bem como da relação entre SNR e altura dos satélites em relação ao horizonte das antenas são dados por Parkinson (1996).

Uma das formas de obtenção da distância receptor-satélite é através da multiplicação do tempo de propagação do sinal entre eles pela velocidade da luz, a qual é chamada de pseudodistância, devido ao erro de sincronismo entre os relógios responsáveis pela geração dos códigos no satélite e receptor.

A medida desse intervalo de tempo ocorre através de uma função de autocorrelação entre o sinal que chega do satélite e uma réplica do mesmo gerada no receptor. Essa função é simétrica, ou seja, não há distorção da função entre os intervalos de correlação. O multicaminho distorce essa função.

A outra forma de se obter essa distância é por fase, através do conhecimento do número de ciclos inteiros da onda portadora entre o receptor e o satélite mais a parte fracionária, multiplicada pelo comprimento de onda. O receptor mede a parte fracionária inicial mais os ciclos inteiros a partir dessa época. O número de ciclos inteiros entre o receptor e o satélite (ambigüidade), nessa época inicial, é desconhecido e deve ser calculado de alguma forma. O multicaminho altera a fase medida pelo receptor.

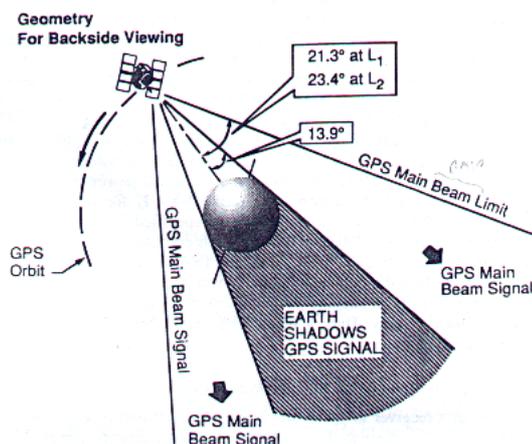
Tanto para código como para fase a máxima perda de correlação é de 1dB a partir de um sinal ideal do ponto de vista da geração do mesmo, imperfeições de filtragem e distorções na forma da onda. Essa perda máxima é distribuída aproximadamente da seguinte maneira: 0,6 dB causado por imperfeições na modulação ao nível de satélite e 0,4 dB por distorções na forma da onda no receptor usuário (imperfeições de filtragem).

2. DESENVOLVIMENTO

No satélite as antenas estão modeladas de forma a minimizar a perda de potência do sinal no caminho satélite-receptor, especialmente para baixos ângulos de elevação dos mesmos em relação ao usuário. A partir da altitude do satélite, o ângulo de cobertura total da Terra é de aproximadamente 28° , mas o modelo das antenas é projetado para estender-se além deste limite, e assim o sinal pode ser recebido por outros satélites, desde que não estejam sombreados (encobertos) pela Terra, conforme mostrado na figura 1.

A perda de potência no percurso satélite-receptor é de aproximadamente 2.0 dB para um ângulo de elevação de 5° . Medidas da potência mínima do sinal recebido em relação ao ângulo de elevação para esta condição confirmam esse dado, mostrando que o pico mínimo especificado do sinal, até um ângulo de elevação de 40° , é aproximadamente 2.0 dB acima do nível mínimo que é -160 dBW para o código C/A. Essa perda de potência é menor que 2.0 dB (exceto para ângulos menores que 5°). Os satélites são projetados para que a potência mínima seja mantida até o fim de sua vida útil, o que é feito através de uma potência maior que esse valor no início dessa vida útil.

FIGURA 1 – GEOMETRIA DO RAIOS GPS PRINCIPAL EM RELAÇÃO A TERRA COMO “VISTO” A PARTIR DO SATÉLITE



FONTE: Parkinson, 1996.

O sinal GPS tem algumas considerações que devem ser conhecidas para o bom entendimento da qualidade do sinal que chega no receptor e de suas implicações na qualidade das medidas feitas. Com relação ao ruído na fase da portadora a densidade espectral do mesmo deve ser pequena de modo a permitir a medida da fase dessa portadora com uma precisão de pelo menos 0,1rad de desvio padrão. Quanto a acurácia e coerência na quadratura da fase L1, as transições entre duas modulações do sinal devem ter uma diferença nunca superior a 10 ns. Quanto a velocidade de grupo, sua incerteza não pode exceder a 3 ns. Quanto a polarização o sinal GPS apresenta polarização circular direita.

O sinal que sai da antena do receptor passa por uma linha de transmissão, um filtro passa-banda e um amplificador de baixo ruído. Devido a potencial perda na linha de transmissão o amplificador de baixo ruído é mantido fisicamente próximo à antena. O

filtro passa-banda também tem que ter baixa perda, mas fornecer seletividade de filtragem adequada para atenuar interferência de canais adjacentes. A temperatura de ruído efetiva e a densidade espectral do ruído estão relacionadas com a potência do sinal recebido para um determinado satélite, tanto na L1 como na L2. Segundo Parkinson (1996) a densidade do ruído recebido é dada pela constante de Boltzman's - K (-228,6 dBW/°K-Hz) multiplicada pela temperatura de ruído equivalente - T_{eq} (em Kelvin), a qual depende da temperatura de ruído da antena, da perda de potência de transmissão entre a antena e o pré-amplificador, da temperatura ambiente da linha de transmissão e da temperatura do amplificador de baixo ruído do receptor.

A razão de densidade portadora/ruído recebida é um dos parâmetros-chaves que determinam a performance de um receptor, sendo expressa por C/N_0 , onde C é a potência efetiva na portadora (representada pela potência mínima esperada menos a perda de potência na linha de transmissão). A potência efetiva na portadora (P_c/L), onde P_c é a potência mínima esperada, é afetada por multicaminho, atmosfera e baixos ângulos de elevação. A razão de densidade portadora/ruído (C/N_0) é fornecida nos arquivos de saída dos receptores GPS e está diretamente relacionada com a SNR. A combinação de todos esses parâmetros parece conduzir a estimativas da precisão possível nas medidas de código e fase.

Segundo Parkinson(1996), existe influência direta da elevação dos satélites na potência do sinal recebido pelo receptor. Os satélites são projetados prevendo uma perda de potência do sinal da ordem de até 6 dB, incluindo uma perda devido a atmosfera da ordem de 2dB. Na prática essa perda pode ser menor que 0,3 dB. Na realidade a C/N_0 realmente prevista pode atingir 51,5 dB-Hz para o código C/A, por exemplo.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia empregada baseou-se na relação entre os parâmetros indicadores da potência do sinal GPS e a presença de multicaminho nesses sinais, bem como com os ângulos de elevação dos satélites visíveis à antena do usuário.

Os parâmetros de potência dos sinais analisados foram a razão sinal-ruído (SNR) e razão densidade sinal/ruído (C/N_0). Esses dados foram extraídos de arquivos de observações no formato ASCII.

Os sinais com multicaminho e as trajetórias (elevação e azimute) dos satélites foram extraídos conforme a metodologia da alta correlação de sinais em duas antenas próximas apresentada por Farret (2000).

Utilizou-se um receptor BeeLine (NovAtel) com duas linhas de radiofrequência da portadora L1, uma para cada uma das duas antenas a ele ligadas, medindo a fase da portadora L1 e o código C/A.

A elaboração das rotinas de cálculos foi feita no programa MATLAB e em programas de linguagem específica como DELPHI. Utilizou-se o programa CONVERT 32, fornecido pelo fabricante do receptor, para transformação dos arquivos de saída do receptor (nos formatos binário) para o formato ASCII, de onde extrairam-se os valores da SNR e C/N_0 analisados.

A correlação entre os parâmetros analisados foi feita através de correlações matemáticas e/ou técnicas de análise espectral do sinal, com base nas transformadas de Fourier.

4. RESULTADOS

Os resultados apresentados referem-se a um período de rastreamento de aproximadamente uma hora e meia feito no dia 1º de junho, embora haja dados para os dias 31/5 e 2/6, respeitando a defasagem de tempo solar-universal (3 min e 56 seg) para garantir a mesma geometria da constelação em relação às antenas. A figura 2 mostra a C/N_0 para o satélite 9 em relação as duas antenas conectadas no receptor, originando o desenho de dois sinais no gráfico. A figura 3 mostra a mesma situação mas em relação ao satélite 16.

A correlação entre a C/N_0 nas antenas 1 e 2 para o satélite 9, é de 87% para o dia 31/05, 89% para dia 01/06 e de 82% para o dia 02/06, com uma correlação média entre esses dias de 86%. Para o satélite 16 esses valores foram de 93%, 92% e 87%, respectivamente, com uma correlação média de 91%.

FIGURA 2 – C/N_0 DO SATÉLITE 9 DURANTE O PERÍODO DE RASTREIO (EM SEGUNDOS) DO DIA 1º/06 NAS DUAS ANTENAS

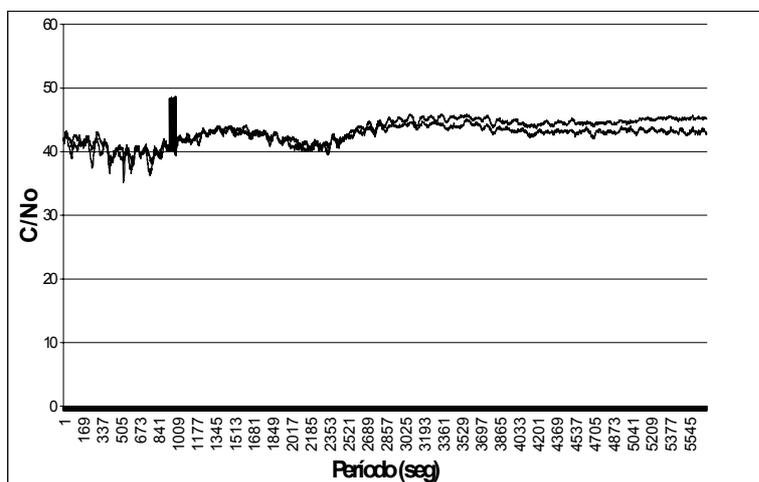


FIGURA 3 - C/No DO SATÉLITE 16 DURANTE O PERÍODO DE RASTREIO (EM SEGUNDOS) DO DIA 1º/06 NAS DUAS ANTENAS

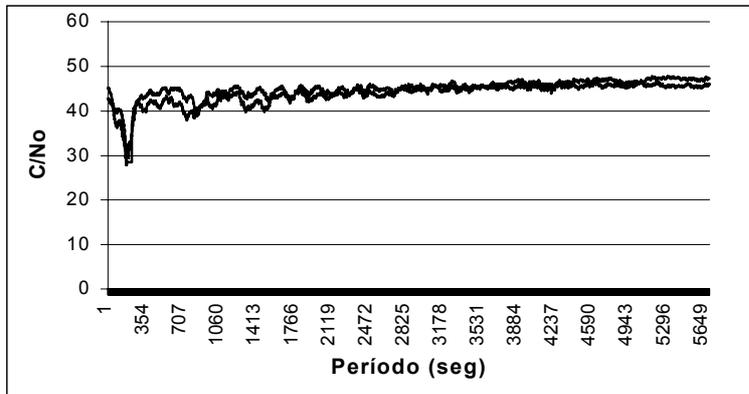
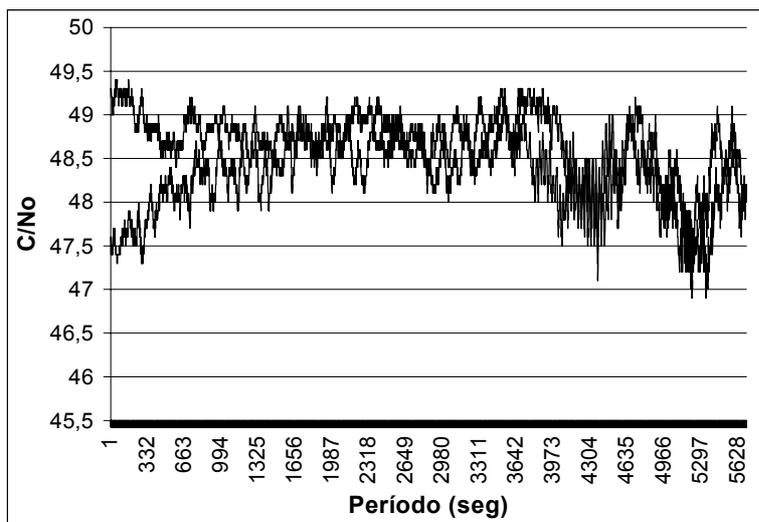


FIGURA 4 - C/No DO SATÉLITE 2 DURANTE O PERÍODO DE RASTREIO (EM SEGUNDOS) DO DIA 1º/06 NAS DUAS ANTENAS



As figuras 5 e 6 mostram a variação da elevação dos satélites 9 e 2 durante os períodos trabalhados, importantes por influir no ruído do sinal. Somente o satélite 2 chegou a uma elevação que pode ser crítica em alguns casos do ponto de vista do ruído, ou seja, 10°

FIGURA 5 – ELEVAÇÃO DO SATÉLITE 9 DURANTE AS SESSÕES DE RASTREIO

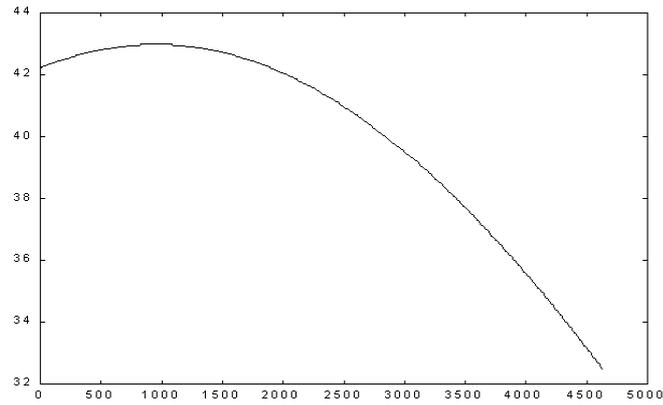
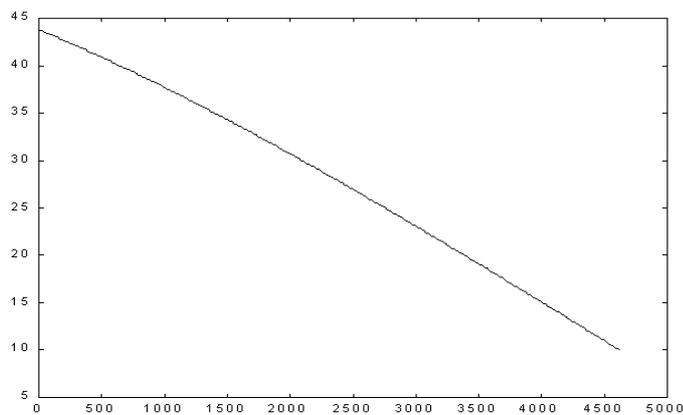


FIGURA 6 – ELEVAÇÃO DO SATÉLITE 2 DURANTE AS SESSÕES DE RASTREIO



As figuras 7 e 8 mostram os valores do multicaminho na antena 1 para os satélites 9 e 2 no rastreo do dia 1º de junho, sendo que esse último satélite apresentou valores significativamente altos, principalmente em comparação com o satélite 9. A correlação desses valores com a C/N_0 é em média de 40% no caso do satélite 9 e de 25% no caso do satélite 2.

FIGURA 7 – EFEITO DO MULTICAMINHO (EM METROS) NA ANTENA 1 PARA O SATÉLITE 9 NO RASTREIO DO DIA 1º DE JUNHO

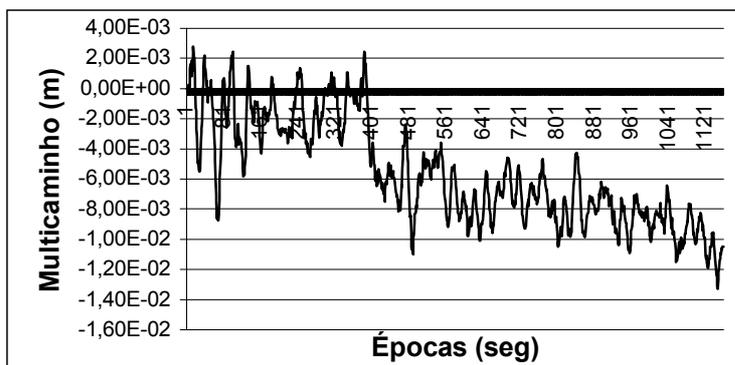
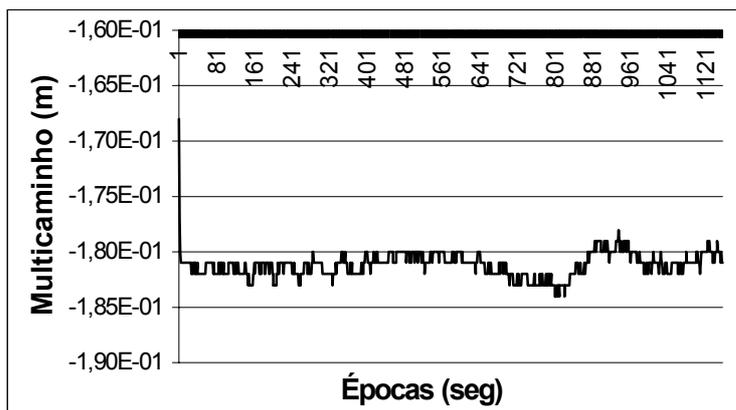


FIGURA 8 – EFEITO DO MULTICAMINHO (EM METROS) NA ANTENA 1 PARA O SATÉLITE 2 NO RASTREIO DO DIA 1º DE JUNHO



5. CONCLUSÕES

A análise dos resultados de C/N_0 para os satélites 9 e 16 (figuras 2 e 3) permite confirmar, em primeiro lugar, a alta correlação entre os sinais de antenas próximas, com uma média de 90% para todos os satélites. Esse é o pressuposto teórico básico da metodologia de detecção e atenuação do multicaminho em que se baseia esse trabalho (Farret, 2000) sendo que, por ocasião do mesmo, a verificação foi feita somente na análise da eficiência do método quanto a sua proposta, e não na medição em si dessa correlação.

Observam-se também algumas “falhas” no sinal quando observam-se o ruído nos 3 dias de rastreamento, havendo momentos em que as mesmas não ocorrem em ambas as antenas. Isso sugere a ocorrência de algum problema a nível de canal, linha de rádio-frequência ou, menos provável, na linha de transmissão interna do receptor. Na seqüência dessa pesquisa esses pontos deverão ser esclarecidos, talvez com a participação do fabricante dos equipamentos usados. Nessa mesma lógica observa-se baixa correlação entre as antenas no caso do satélite 2, com a ocorrência de valores destoantes de ruído para as mesmas épocas, principalmente no início do levantamento (figura 4).

A análise conjunta da C/N_0 com a elevação dos satélites (figuras 5 e 6) e o multicaminho (figuras 7 e 8) mostra baixa correlação quanto ao satélite 9, pelo fato da diminuição da elevação do mesmo se dar de forma pouco significativa, com apenas 13° de variação (de 45° à 32°) e sem chegar a um patamar crítico, o que é confirmado pela baixa variação da C/N_0 (de 43 à 45) e por valores milimétricos de multicaminho. O mesmo não ocorre com relação ao satélite 2 onde uma diminuição no valor da C/N_0 (de 49,5 à 47) também é coerente com valores anormais e crescentes de multicaminho para uma medida de fase. Esses números também sugerem uma relação inversa não muito direta entre C/N_0 e multicaminho, o que também deverá ser aprofundado na seqüência das pesquisas que originaram o presente trabalho, provavelmente pelo uso de análise espectral.

Como uma conclusão de ordem prática para usuários do sistema GPS, os resultados parecem permitir concluir que as máscaras de rastreamento mais usuais (de 10 à 15°) são seguras do ponto de vista do ruído nas transmissões dos satélites, isto dependendo fundamentalmente das condições geométricas locais da antena do usuário. Abaixo de 10° de elevação, o risco de baixa integridade do sinal desaconselha essa prática, como pode ser visto na análise do ruído para o satélite 2 (figura 4).

6. REFERÊNCIAS

FARRET, J. C. **O Efeito do Multicaminho Estático nas Medidas da Fase das Portadoras GPS**. Curitiba, 2000. 138 f. Tese (Doutorado em Geodésia). Departamento de Geomática. Universidade Federal do Paraná.

NOVATEL, INC. **Beeline User Manual**.

Disponível em: <www.novatel.ca/productmanuals.html> Acesso: 9 fevereiro 2003.

PARKINSON, B.W. et al. **Global Positioning System: Theory and Applications**. 3.ed. Washington, DC : American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc., 1996. 792 p.

RAY, J. Use of Multiple Antennas to Mitigate Carrier Phase Multipath in Reference Stations. In: INTERNATIONAL TECHNICAL MEETING, 12, 1999, Nashville. **Proceedings...**Kansas City: ION, 1999. p. 269-280.

WELLS, D. et al. **Guide to GPS Positioning**. 1. ed. Fredericton : Canadian GPS Associates, 1986. p. 59-66.

AValiação DA QUALIDADE DAS EFEMÉRIDES TRANSMITIDAS DOS SATÉLITES GPS

Haroldo Antonio Marques¹
Márcia Reis Santana²
João Francisco Galera Monico³

1. Aluno de Engenharia Cartográfica da Faculdade de Ciências e Tecnologia - haroldo@prudente.unesp.br
2. Aluna de Engenharia Cartográfica da Faculdade de Ciências e Tecnologia - marciareissantana@bol.com.br
3. Docente do Departamento de Cartografia da Faculdade de Ciências e Tecnologia - galera@prudente.unesp.br

RESUMO

Todas aplicações da tecnologia GPS necessitam do conhecimento das posições (órbitas) dos satélites. Logo, a obtenção das posições dos satélites é de extrema importância, bem como dispor da avaliação de sua qualidade. A determinação das coordenadas dos satélites GPS é feita, usualmente, através das informações contidas nas mensagens de navegação. Os próprios satélites GPS carregam e disseminam as efemérides denominadas transmitidas (*broadcast ephemerides*). A precisão dessas efemérides é dita ser da ordem de 10m. Elas são utilizadas pela maioria dos usuários GPS, por se tratar de um produto pronto para aplicação, quer seja em tempo real ou num pós-processamento. A qualidade das órbitas dos satélites não tem sido avaliada, rotineiramente, pela comunidade usuária. Um modo para avaliar a qualidade das órbitas dos satélites determinadas a partir das mensagens de navegação GPS, órbitas transmitidas, é compará-las com as órbitas da rede IGS, cuja qualidade varia de 5 a 50 cm. Para realizar essa tarefa foi elaborado um software capaz de ler um arquivo de efemérides transmitidas, calcular a posição do satélite num dado instante e em seguida, fazer a leitura de um arquivo de efemérides precisas para comparar com os valores calculados anteriormente. Todo esse procedimento, bem como a análise da qualidade das órbitas, será objeto deste trabalho.

Palavras-Chave: GPS; Órbitas dos Satélites; Serviço GPS Internacional -IGS.

ABSTRACT

All applications of GPS technology require the knowledge of the positions of the satellites. This is due to the fact that the coordinates of the satellite are used in the determination of terrestrial coordinates. Therefore, the determination of the satellites positions is of extreme importance, as well as the evaluation of their quality. The determination of the GPS satellites coordinates is, usually, obtained from the information contained in the navigation messages. The GPS satellites carry and disseminate the broadcast ephemerides. The precision of these ephemerides is said to be of the order of 10m. They are used by most of the GPS users, because they are a product ready for application, either in real time or post-processed. The quality of satellites orbits hasn't been evaluated frequently by the user community. One way to evaluate the quality of satellites orbits determined through the GPS navigation messages is to compare them with the IGS orbits, whose precision varies from 5 to 50 cm. Therefore, to perform this task, one software capable of reading the broadcast ephemerides and calculating the position of the satellite in a pre-defined instant and compare with the position in the IGS ephemerides was developed. The approach and the results will be presented in this paper.

Keywords: GPS; Satellite Orbits; International GPS Service - IGS.

1. INTRODUÇÃO

As aplicações da tecnologia GPS requerem que se conheça a posição (órbitas) dos satélites. Logo, a determinação das posições dos satélites é de extrema importância, e a avaliação de sua qualidade um assunto de grande interesse. A determinação das coordenadas dos satélites GPS é feita, usualmente, através das informações contidas nas mensagens de navegação; os elementos keplerianos e suas variações. Os próprios satélites GPS carregam e disseminam as efemérides denominadas transmitidas (*broadcast ephemerides*). A precisão dessas efemérides é dita ser da ordem de 10m. Elas são utilizadas pela maioria dos usuários GPS, por se tratar de um produto pronto para aplicação, quer seja num pós-processamento, quer seja em tempo real. A qualidade das órbitas dos satélites não tem sido avaliada, rotineiramente, pela comunidade usuária.

1.1. OBJETIVOS

Os principais objetivos deste trabalho são:

- A determinação das coordenadas (posições) e dos erros dos relógios dos satélites GPS, através dos elementos keplerianos das órbitas dos satélites contidos nas efemérides transmitidas (arquivos de navegação);
- Realizar a comparação entre as coordenadas dos satélites GPS, obtidas das efemérides transmitidas, e as coordenadas fornecidas pelo IGS (efemérides precisas);
- Analisar as discrepâncias obtidas entre as posições dos satélites.

Para a realização das atividades foi necessária a implementação de um programa computacional, o qual calcula as posições dos satélites e compara os resultados com as efemérides precisas gerando as discrepâncias entre ambas efemérides.

2. AS MENSAGENS DE NAVEGAÇÃO GPS

O procedimento para a produção das efemérides transmitidas envolve, em geral duas etapas. Primeiramente, produzem-se as efemérides de referência para um determinado período, com base num modelo que considera as forças que atuam nos satélites, num processamento *off-line*, usando programas computacionais apropriados. Trata-se basicamente da força de atração da Terra, das forças de atração do Sol e da Lua, além da pressão da radiação solar sobre os satélites. Na segunda etapa, as discrepâncias entre as observações coletadas nas estações monitoras e as calculadas usando as efemérides de referência são processadas usando o algoritmo de filtragem Kalman, incluindo quatro semanas de dados, para prever as correções das efemérides de referência e o comportamento dos relógios dos satélites.

Esse procedimento envolve as observações de pseudodistâncias de todos os satélites visíveis nas estações monitoras, as quais são corrigidas da refração ionosférica e troposférica e dos efeitos relativistas. As primeiras 28 horas da predição são divididas em intervalos de 4 horas, com sobreposição de 1 hora. Uma vez por dia, ou mais freqüentemente, se necessário, elas são transmitidas para os satélites.

2.1 ÓRBITAS TRANSMITIDAS (BROADCAST EPHEMERIS)

A partir da predição da órbita de um satélite com um arco de 28 horas, dividida em intervalos de 4 horas, com sobreposição de 1 hora, permite-se gerar nove efemérides diferentes. Embora a predição das órbitas dos satélites GPS seja dada em coordenadas cartesianas, com as respectivas velocidades, elas são transformadas em elementos Keplerianos, de acordo com o formato de navegação. Esse formato requer menor espaço em memória, proporcionando maior flexibilidade para o segmento de controle do GPS.

2.2 REPRESENTAÇÃO DAS EFEMÉRIDES TRANSMITIDAS

As efemérides transmitidas são compostas pelos elementos keplerianos que descrevem a órbita, por parâmetros perturbadores e por parâmetros de tempo. Estes últimos permitem corrigir o tempo dos relógios dos satélites. Os elementos keplerianos e os parâmetros perturbadores permitem calcular as posições (coordenadas) de cada satélite.

Os usuários que necessitam de posição instantânea através do GPS podem também utilizar as efemérides ultra-rápidas, IGS, produzidas pelo IGS (*International GPS Service*). Mas em geral, utilizam-se as efemérides transmitidas, que apresentam precisão suficiente. No entanto, é de fundamental importância, confirmar a qualidade das efemérides que sempre comparece em termos de precisão, sem uma referência mais explícita sobre sua acurácia.

As efemérides transmitidas estão disponíveis no momento da recepção dos sinais. Elas são mensagens de navegação representadas por vários elementos e parâmetros, mediante os quais as coordenadas cartesianas dos satélites e o erro do relógio do satélite em relação ao tempo GPS são calculados. As coordenadas (X, Y, Z) dos satélites GPS são referenciadas a um referencial geocêntrico, o WGS 84 (*World Geodetic System of 1984*)..

2.3 FORMATO RINEX DAS MENSAGENS DE NAVEGAÇÃO

O formato padrão RINEX (*Receiver INdependent Exchange format*) foi desenvolvido para possibilitar a troca de dados entre os receptores GPS. O formato RINEX é composto de três arquivos em ASCII: um arquivo de observação, um arquivo de navegação e um arquivo com dados meteorológicos.

O arquivo de mensagens de navegação é composto de um cabeçalho e de registros. O cabeçalho contém informações sobre a versão do arquivo RINEX, nome da instituição e do programa que criou o arquivo, parâmetros para calcular o Tempo Universal Coordenado, etc. Os registros são informações sobre cada satélite, como saúde, precisão etc. Os elementos keplerianos estão contidos nesses registros.

Um arquivo de navegação RINEX (UEPP0011.02N) é mostrado na Figura 01. Nesse exemplo, o arquivo é referente ao dia 1 de janeiro de 2002 e foi coletado na estação UEP da RBMC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo). São mostradas partes das mensagens referentes aos satélites 1 e 31.

FIGURA 01: TRECHO DE UM ARQUIVO DE NAVEGAÇÃO RINEX (UEPP0011.02N).

```

                2      NAVIGATION DATA RINEX VERSION / TYPE
DAT2RIN 2.35b  IBGE/DEGED      02JAN02 2:09:50 GTMPGM / RUN BY / DATE
                                COMMENT
                .2887D-07 .2980D-07 -.1192D-06 .0000D+00 ION ALPHA
                .1536D+06 -.1966D+06 -.6554D+05 .3932D+06 ION BETA
                -.621724893790D-14 .000000000000D+00 405504 123 DELTA-UTC: A0,A1,T,W
                                13      LEAP SECONDS
                                END OF HEADER
1 2 1 1 18 0 0.0 .209784600884D-03 .147792889038D-11 .000000000000D+00
.181000000000D+03 -.136375000000D+03 .427482092059D-08 -.980876883242D+00
-.700354576111D-05 .524074223358D-02 .667944550514D-05 .515371313667D+04
.237600000000D+06 -.100582838058D-06 -.172544424379D+00 .838190317154D-07
.967540728926D+00 .254812500000D+03 -.172807453978D+01 -.809105131048D-08
-.121076471892D-09 .100000000000D+01 .114700000000D+04 .000000000000D+00
.100000000000D+01 .000000000000D+00 -.325962901115D-08 .181000000000D+03
.230520000000D+06
...
31 2 1 1 19 59 28.0 .842357985675D-04 .227373675443D-11 .000000000000D+00
.191000000000D+03 -.100312500000D+02 .510128391752D-08 .114133774619D+01 ----
.270083546638D-06 .107429545606D-01 .935047864914D-05 .515371550560D+04
.244768000000D+06 -.145286321640D-06 .291413548811D+01 .484287738800D-07
.943616506055D+00 .195093750000D+03 .874019209791D+00 -.829963142725D-08
-.813962476233D-09 .100000000000D+01 .114700000000D+04 .000000000000D+00
.000000000000D+00 .000000000000D+00 -.558793544769D-08 .191000000000D+03
.237600000000D+06
EOF

```

3. Rede IGS

O IGS é um centro que presta serviços para o sistema GPS. Estações IGS espalhadas pelo mundo coletam códigos e fases da portadora dos satélites utilizando receptores de dupla frequência. Os dados são analisados independentemente pelos centros de análises (agências) e são arquivados em formato padrões (por exemplo, o RINEX). O IGS fornece órbitas de satélites GPS com alta qualidade (precisão de alguns centímetros para cada coordenada), além de dados brutos do rastreamento dos satélites, parâmetros do relógio dos satélites, parâmetros de orientação da Terra, etc.

As Efemérides Precisas (*Precise Ephemeris*) são produzidas e disponibilizadas de 7 a 10 dias após a coleta de dados. Essas efemérides fornecem precisão da ordem de 5 cm para as posições e de 0.3 nano segundos (ns) para os erros dos relógios. Elas são apresentadas num formato padrão em ASCII (*American Standard Code for Information Interchange*), chamado SP3 (*Standard Product #3*). As órbitas são referenciadas num referencial fixo a Terra, no caso, um dos ITRF (*International Terrestrial Reference Frame*) e ao tempo GPS.

A seguir, na Figura 02, é mostrada uma parte de um arquivo (igs11472.SP3) de efemérides precisas do IGS. Esse exemplo se refere a efemérides do dia 1º de janeiro de 2002. Suas coordenadas são dadas em quilômetros e as correções dos relógios em micro segundos.

Têm-se ainda as efemérides rápidas, chamadas de IGR, que estão disponíveis cerca de 48 horas após sua produção. E mais recentemente, estão disponíveis as ultra-rápidas (IGU). Estas são muito úteis para o posicionamento em tempo real, já que estão disponíveis algumas horas antes do início de sua validade.

As efemérides precisas (IGS e IGR) possuem um intervalo de tempo de 24 horas, começando as 0 h e terminando às 23:45 horas do dia do arquivo. Já as efemérides IGU têm intervalo de 48 horas, com início às 12 horas do dia anterior, passando pelas 24 horas do dia do arquivo, e com término às 12 horas do dia posterior.

As efemérides IGR apresentam precisão da ordem de 10 cm para as coordenadas dos satélites, e 0.5 ns para os erros dos relógios. Já as IGU, 50 cm e 150 ns, respectivamente (Monico, 2000).

Todas as efemérides descritas vinculadas ao IGS são referenciadas a um dos vários ITRF's.

FIGURA 02 – TRECHO DE UM ARQUIVO DE EFEMÉRIDES PRECISAS (IGS11472.SP3) .

```
#aP2002 1 1 0 0 0.00000000 96 ORBIT IGS00 HLM IGS
## 1147 172800.00000000 900.00000000 52275 0.00000000000000
+ 27 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 13 14 15 17 18 20
+ 21 22 23 25 26 27 28 29 30 31 0 0 0 0 0 0 0
+ 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
+ 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
+ 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
++ 4 5 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 5 4 5
++ 5 4 4 4 5 4 5 5 4 4 0 0 0 0 0 0 0
++ 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
++ 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
++ 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
%e cc cc ccc ccc cccc cccc cccc cccc ccccc ccccc ccccc
%e cc cc ccc ccc cccc cccc cccc cccc ccccc ccccc ccccc
%f 0.0000000 0.000000000 0.00000000000 0.000000000000000
%f 0.0000000 0.000000000 0.00000000000 0.000000000000000
%i 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
%i 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
/* FINAL ORBIT COMBINATION FROM WEIGHTED AVERAGE OF:
/* cod emr esa gfz jpl ngs sio
/* REFERENCED TO GPS CLOCK AND TO WEIGHTED MEAN POLE:
/* CLK ANT Z-OFFSET (M): II/IIIA 1.023; IIR 0.000
* 2002 1 1 0 0 0.00000000
P 1 25107.086543 964.867809 8840.974468 209.678021
P 2 15955.019700 -8899.126328 -18440.844783 -129.720308
P 3 6049.402061 14667.398166 -21355.417679 97.011680
P 4 1151.236752 -18361.527268 19129.314035 326.503802
P 5 -14282.746257 -7277.114528 21133.009618 330.730056
P 6 -26136.056279 5161.839547 1333.446368 -2.052608
P 7 13278.517472 -16059.330683 16697.423463 667.460258
... (EOF)
```

4. CÁLCULO DAS POSIÇÕES DOS SATÉLITES A PARTIR DAS EFEMÉRIDES TRANSMITIDAS

A determinação das posições dos satélites transforma as efemérides transmitidas de elementos keplerianos para coordenadas (X, Y, Z), para então serem comparadas com as efemérides precisas.

Para a utilização das efemérides transmitidas (elementos keplerianos e parâmetros perturbadores) é importante o conhecimento da teoria orbital. Uma órbita kepleriana normal é uma órbita teórica, na qual não são consideradas as perturbações, causadas devido à não homogeneidade da Terra. Pelo contrário, considera-se que a Terra possui distribuição homogênea, e que apenas uma força de atração age entre ela e o satélite.

Já uma órbita perturbada é baseada em uma Terra não homogênea, na qual atuam muitos distúrbios e perturbações. Essas perturbações podem ser divididas em Gravitacionais e Não Gravitacionais. As origens das perturbações gravitacionais são a não esfericidade da Terra e atração gravitacional. As origens de distúrbios não gravitacionais são: pressão de radiação solar, atrito na atmosfera, forças do campo magnético, ventos solares (Hofmann-Wellenhof et al., 1997).

Nas efemérides transmitidas os parâmetros perturbadores dos elementos keplerianos são utilizados na determinação das órbitas dos satélites.

4.1. EQUAÇÕES

O cálculo da posição do satélite exige que se obtenha primeiramente as coordenadas no sistema orbital. Em seguida transformam-se as coordenadas para o sistema terrestre (WGS 84). As equações para o cálculo das posições do satélite estão relacionadas abaixo. Todas as fórmulas são para um satélite k.

4.1.1 INTERVALO DE TEMPO TRANSCORRIDO DESDE A ÉPOCA ORIGEM DAS EFEMÉRIDES

Para um determinado instante GPS (t_{GPS}), o intervalo de tempo transcorrido desde o tempo origem das efemérides (t_{oe}) é dado por:

$$\Delta t_k = t_{GPS} - t_{oe} \quad (3.1)$$

4.1.2 ANOMALIA VERDADEIRA

Para a determinação da anomalia verdadeira, três constantes são utilizadas. As constantes são referenciadas ao WGS 84. Os valores foram encontrados em Monico (2000).

$$GM = 3.986004418 \times 10^{14} \text{ m}^3/\text{s}^2 \text{ (Constante Gravitacional)}$$

$$\omega_e = 7.2921151467 \times 10^{-5} \text{ rad/s (Velocidade de Rotação)}$$

$$\pi = 3.1415926535898$$

A seqüência de cálculo apresentada a seguir proporciona a anomalia verdadeira.

- Movimento Médio Calculado

$$n_0 = (GM/a^3)^{1/2} \quad (3.2)$$

- Movimento Médio Corrigido

$$n = n_0 + \Delta n \quad (3.3)$$

- Anomalia Média

$$M_k = M_0 + n * \Delta t_k \quad (3.4)$$

- Anomalia Excêntrica

$$E_k = M_k + e * \text{sen} (E_k) \quad (3.5)$$

- Anomalia Verdadeira

A anomalia verdadeira pode ser obtida por uma das equações a seguir:

$$\cos (V_k) = (\cos (E_k) - e) / (1 - e * \cos (E_k)) \quad (3.6)$$

$$\text{sen} (V_k) = (\sqrt{1 - e^2} * \text{sen} (E_k)) / (1 - e * \cos (E_k)) \quad (3.7)$$

Ou ainda por:

$$\text{tg} (V_k) = (\sqrt{1 - e^2} * \text{sen} (E_k)) / (\cos (E_k) - e) \quad (3.8)$$

Importante citar que nesta etapa deve-se analisar o quadrante em que está localizado o satélite.

4.1.2 COORDENADAS PLANAS DO SATÉLITE

A partir das equações apresentadas a seguir chega-se às coordenadas que posicionam o satélite no plano orbital (Figura 03):

$$u_k = \Phi_k + \delta u_k \quad (3.9)$$

$$\delta u_k = C_{uc} * \cos (2*\Phi_k) + C_{us} * \text{sen} (2*\Phi_k) \quad (3.10)$$

$$\Phi_k = V_k + w \quad (3.11)$$

Nestas expressões tem-se:

- u_k – argumento da latitude corrigido;
- Φ_k – argumento da latitude;
- δu_k – correção do argumento da latitude;
- w – argumento do perigeu

O raio vetor corrigido é obtido a partir de:

$$r_k = a * (1 - e * \cos (E_k)) + \delta r_k \quad (3.12)$$

$$\delta r_k = C_{rc} * \cos (2*\Phi_k) + C_{is} * \text{sen} (2*\Phi_k) \quad (3.13)$$

Onde:

- δr_k – correção do raio vetor;

- r_k – raio vetor corrigido.

A inclinação corrigida é obtidas a partir das expressões:

$$i_k = i_0 + i * \Delta t_k \quad (3.15)$$

$$\delta i_k = C_{ic} * \cos (2 * \Phi_k) + C_{is} * \sen (2 * \Phi_k) \quad (3.14)$$

Onde:

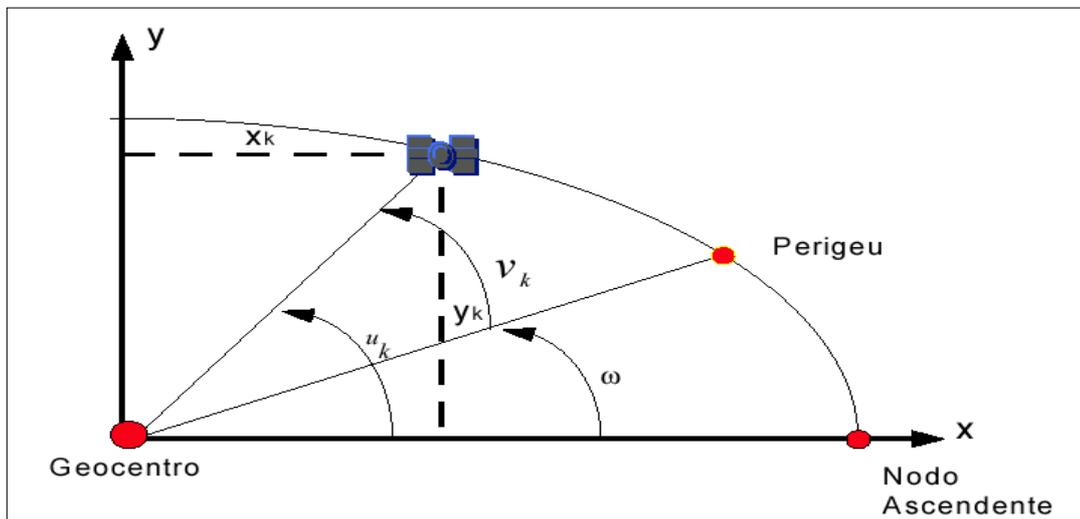
- i_k – inclinação corrigida.
- δi_k – correção da inclinação;

E finalmente tem-se a posição no plano orbital

$$x_k = r_k * \cos (u_k) \quad (3.16)$$

$$y_k = r_k * \sen (u_k) \quad (3.17)$$

FIGURA 03 – COORDENADAS PLANAS DO SATÉLITE.



4.1.3 Coordenadas Terrestres (WGS 84) do Satélite

Finalmente, para obter as coordenadas terrestres do satélite, transformam-se as coordenadas do sistema bidimensional para o sistema tridimensional WGS 84 (Figura 04). As expressões abaixo completam essa operação.

- Longitude corrigida do nodo ascendente conforme pode ser visto na figura 04.

$$\Omega_k = \Omega_0 + \Omega * \Delta t_k - \omega_e * t_{GPS} \quad (3.18)$$

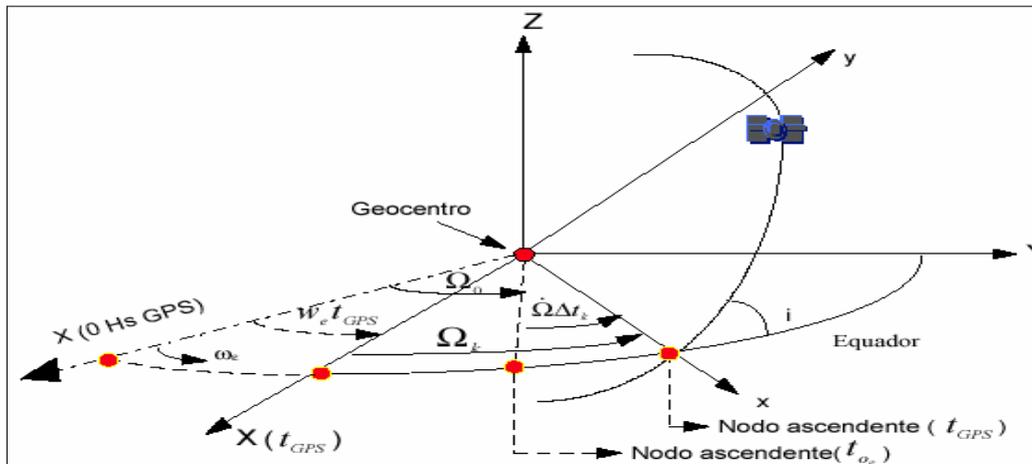
- Coordenadas WGS 84 do satélite:

$$X^k = x_k * \cos (\Omega_k) - y_k * \sen (\Omega_k) * \cos (i_k) \quad (3.19)$$

$$Y^k = x_k * \sen (\Omega_k) + y_k * \cos (\Omega_k) * \cos (i_k) \quad (3.20)$$

$$Z^k = y_k * \sen (i_k) \quad (3.21)$$

FIGURA 04 – COORDENADAS TERRESTRES DO SATÉLITE



5. METODOLOGIA

Para facilitar a avaliação das órbitas dos satélites dadas pelas efemérides transmitidas foi elaborado um programa computacional. Esse programa lê um arquivo de efemérides transmitidas e calcula a posição do satélite em um dado instante. Em seguida realiza a leitura de um arquivo de efemérides precisas e procede a comparação entre ambos valores.

5.1. Determinação das Posições dos Satélites GPS

Primeiramente, é necessário obter as informações de um arquivo de navegação no formato RINEX, o qual conforme já dito, contém os elementos keplerianos, parâmetros perturbadores e parâmetros de tempo. A identificação de cada satélite deve ser considerada. Os cálculos são realizados seguindo a formulação apresentada na seção anterior.

Para o caso deste trabalho, o instante para o qual é calculada a posição do satélite é compatível com o instante das efemérides precisas, apresentando, portanto o mesmo intervalo de tempo, que no caso é de 15 minutos. Os cálculos das coordenadas dos satélites para um determinado instante podem variar de 2hs antes à 2hs após o t_{o_e} . Esses são os intervalos de tempo em que são validas as efemérides transmitidas. Para a construção do programa foi utilizada a linguagem de programação C/C++, com o uso do ambiente *Builder C++ 5.0 - Borland*.

As Figuras 05, 06 e 07 ilustram as interfaces do programa com o usuário. O usuário deve fornecer dois arquivos de efemérides: um de transmitida e outro de precisa. De início é realizada a leitura dos dados das efemérides transmitidas e o cálculo das posições, com posterior armazenagem dos resultados. Logo após é possível fazer a comparação das efemérides transmitidas com a precisa, obtendo as

discrepâncias (erros), que são mostradas em termos desvio padrão, erro médio quadrático, erro médio e norma (resultante da discrepância nas três coordenadas). Para cada satélite são calculadas as posições em intervalos de 15 minutos, num período que abrange 2 horas antes e duas horas após o t_{oe} .

FIGURA 05: INTERFACE DO PROGRAMA ILUSTRANDO ARQUIVOS ABERTOS



FIGURA 06: INTERFACE DO PROGRAMA VISUALIZANDO OS DADOS ESTATÍSTICOS.

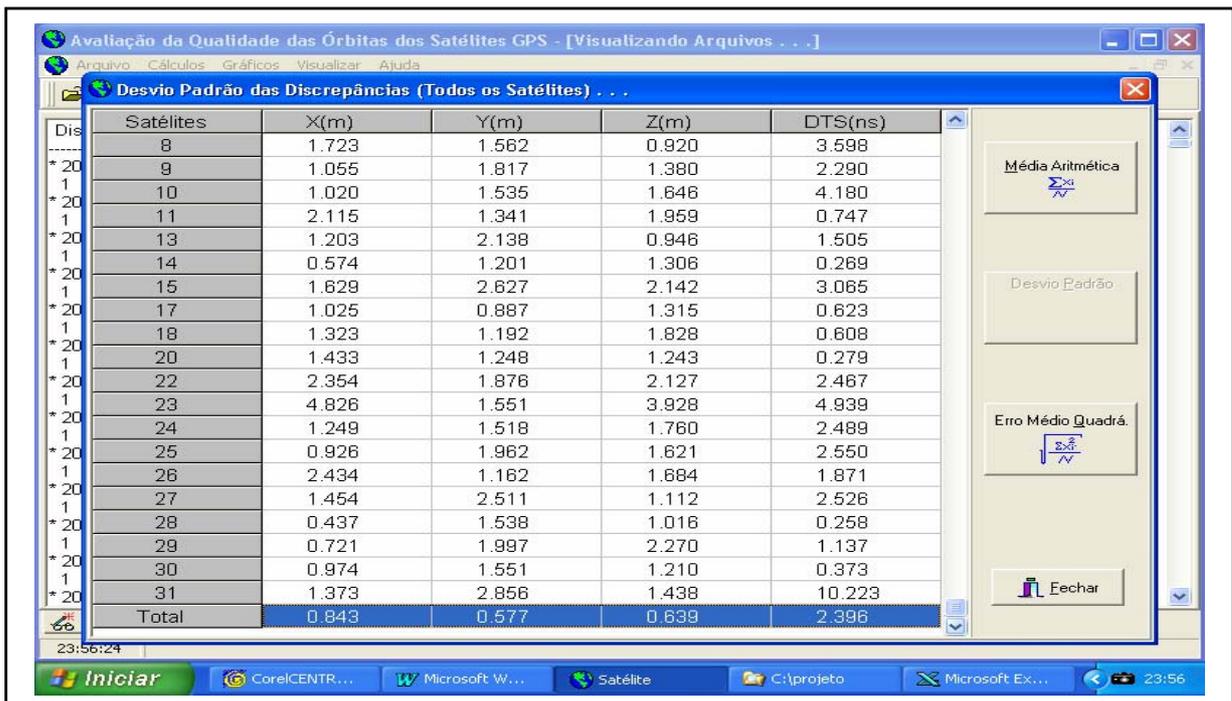
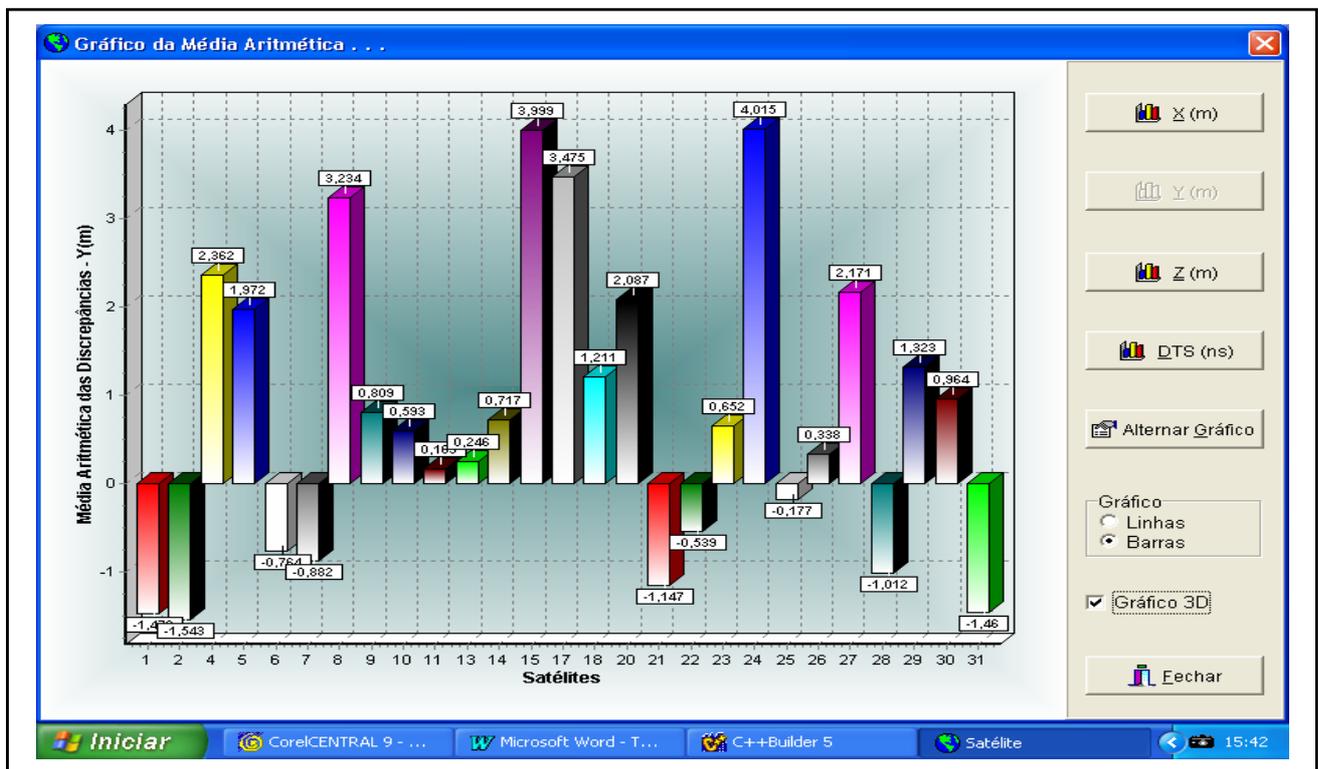


FIGURA 07: INTERFACE DO PROGRAMA VISUALIZANDO GRÁFICOS.



6. RESULTADOS PRELIMINARES

Para uma avaliação preliminar dos resultados, calculou-se as posições e as discrepâncias dos satélites para os arquivos RINEX de navegação nos dez primeiros dias de janeiro de 2002.

Os resultados apresentaram discrepâncias médias totais de -0,088; 0,397; 0,453 metros para as coordenadas X, Y e Z respectivamente. Logo, os valores para as coordenadas X, Y, Z dos satélites, calculadas a partir das efemérides transmitidas, estão próximos dos valores fornecidos pelas efemérides precisas do IGS.

As discrepâncias das posições dos satélites calculadas através das efemérides transmitidas resultaram em valores melhores que a precisão divulgada, que é de 10 metros. As maiores discrepâncias para as coordenadas X e Y encontradas foram de 1,077 metros e -1,485 metros (em valor absoluto) respectivamente, e para a coordenada Z foi de 3,133 metros.

As correções dos relógios dos satélites tiveram, em média, 48,157ns (nano segundos) de diferença entre os valores obtidos das efemérides transmitidas e os valores fornecidos pelas efemérides precisas durante os dez dias. A maior discrepância foi para o dia 01/01/2002 que alcançou 52,227 ns. Entre todos os satélites verifica-se que as maiores discrepâncias ocorrem para o satélite PRN 17, sendo o valor da média total de 962,798ns. Este valor alto justifica-se pelo fato de ser um dos satélites mais velhos da constelação GPS, lançado em dezembro de 1989.

Os valores relatados acima estão resumidos na Tabela 02.

TABELA 02: MÉDIA ARITMÉTICA DAS DISCREPÂNCIAS EM X,Y,Z E RELÓGIOS, PARA OS DEZ PRIMEIROS DIAS DE JANEIRO DE 2002.

DATA	X(m)	Y(m)	Z(m)	DTS (ns)
01/01/02	0,147	1,393	0,410	52,227
02/01/02	0,068	0,857	0,402	50,749
03/01/02	-0,116	0,479	0,224	51,719
04/01/02	-0,317	0,166	0,220	49,339
05/01/02	1,077	-1,485	3,133	45,833
06/01/02	-0,519	0,506	0,160	47,022
07/01/02	-0,121	0,502	-0,044	46,927
08/01/02	-0,808	0,618	-0,398	45,694
09/01/02	-0,360	0,268	0,285	45,883
10/01/02	0,067	0,672	0,143	46,177
TOTAL	-0,088	0,397	0,453	48,157

7. CONCLUSÕES

Todas aplicações da tecnologia GPS necessitam do conhecimento das posições (órbitas) dos satélites. Isso se deve ao fato das coordenadas dos satélites serem utilizadas na determinação de coordenadas terrestres. Com isso, a obtenção das posições dos satélites é de extrema importância, bem como a avaliação de sua qualidade.

No presente trabalho, para avaliar a qualidade das órbitas transmitidas pelo GPS, desenvolveu-se um programa computacional. Esse programa permitirá avaliar uma grande quantidade de efemérides, dando mais confiança na análise da qualidade das efemérides utilizadas no dia a dia pelos usuários GPS.

Da análise preliminar dos resultados pôde-se verificar que as coordenadas dos satélites, determinadas a partir das efemérides transmitidas, apresentaram boa qualidade em relação às coordenadas dadas nas efemérides precisas (IGS), desde que calculadas dentro do intervalo de sua validade.

Dos resultados obtidos verificou-se que o pior foi de 3,133m, na componente Z. Uma análise de uma quantidade maior de dados está sendo realizada, o que permitirá uma análise mais segura da qualidade das efemérides transmitidas.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, J. B. *NAVSTAR – GPS*. Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Curitiba: UFPR, 1988.

CASTRO, A. L. P., ESPINHOSA, M. L., PEREZ, J. A. S. *Determinação das Posições dos Satélites*, Unesp – FCT, 2000.

CHAVES, J.C. *Notas de aula de Geodésia I*, 2001. Unesp – FCT.

HOFMANN-WELLENHOF, B., LICHTENEGGER, H., COLLINS, J. *GPS theory and practice*, 4 ed. Wien: Springer-Verlag, 1997.

KERNINGHAN, B.W., RITCHIE, D. M. *C, A Linguagem de Programação: Padrão ANSI*, Rio de Janeiro: Campus, 1989.

LOCH, C. , CORDINI, J. *Topografia Contemporânea – Planimetria*, Florianópolis: Editora da UFSC, 1995.

MARQUES, A. B. , OLIVEIRA, L. C. *Sistema Computacional para Cálculo das Órbitas de Satélites GPS*, 1998.

MIZRAHI, V. V. *Treinamento em Linguagem C++*, Módulos 1 e 2, São Paulo: Makron Books, 1994.

MONICO, J. F. G. *Posicionamento pelo NAVSTAR – GPS: Descrição, fundamentos e aplicações*, São Paulo: Editora UNESP, 2000.

PITERI, M.A. *Técnicas de Programação em Linguagem C: Notas de aula*, 2000. Unesp – FCT.

RUGGIERO, M. A. G., LOPES, V. L. R. *Cálculo Numérico: Aspectos Teóricos e Computacionais*, 2 ed., São Paulo: Makron Books, 1996.

SPANGHERO, A. *Aprendendo C++ Builder 3 - Guia Prático*, São Paulo: Makron Books, 1999.

TORGE, W. *Geodesy*. Walter Gruyter: 1991, 2^a ed. Berlin.

A INTERAÇÃO OCEANO-CONTINENTE AFETA O POSICIONAMENTO GEODÉSICO COSTEIRO? – UM ESTUDO DE CASO PARA CANANÉIA (SP).

Sílvio R.C. de Freitas¹
Sílvia H.S. Schwab²
Pedro Luis Faggion³
Denizar Blitzkow⁴
Roberto Teixeira Luz⁵
Jorge L. A. Trabanco⁶
Regiane Dalazoana⁷

- 1 Universidade Federal do Paraná – sfreitas@ufpr.br
- 2 Universidade Federal do Paraná – silviass@ufpr.br
- 3 Universidade Federal do Paraná – faggion@geoc.ufpr.br
- 4 Universidade de São Paulo – dblitzko@usp.br
- 5 Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – roberto@ibge.gov.br
- 6 Universidade de Campinas – trabanco@fec.unicamp.br
- 7 Universidade Federal do Paraná – regiane@geoc.ufpr.br

RESUMO

O Datum Vertical Brasileiro no Porto de Imbituba foi posicionado com GPS em um Sistema Geodésico de Referência Geocêntrico em duas campanhas principais em maio de 1997 e maio de 2000. As séries temporais de posicionamento GPS, dados meteorológicos e de marés gravimétricas e oceânicas foram comparadas. Alguns efeitos locais foram identificados em ambas as campanhas. Como fato notável, foram observadas fortes correlações entre as séries temporais de posição vertical com GPS e as marés oceânicas residuais para frequências abaixo de 0,8 CPD. Os resultados obtidos foram duvidosos pois tanto o posicionamento vertical com GPS quanto as marés oceânicas residuais são afetados por efeitos troposféricos. A discussão para frequências mais altas também é duvidosa devido a falta de bons modelos oceânicos para a região. Então, um outro marégrafo brasileiro (Cananéia SP) foi utilizado em abordagem similar buscando a compreensão da correlação se novamente observada. Devido as condições deste marégrafo ser estuarino, novos elementos de discriminação foram obtidos de forma mais conclusiva, uma vez que ressonâncias locais não estão presentes nos sinais atmosféricos.

Palavras-chave: Interações Oceano/Terra/Atmosfera; Sistemas de Referência Geocêntricos; Marés

ABSTRACT

The Brazilian Vertical Datum at Imbituba harbour, Southern Brazil was positioned with GPS in a Geocentric Geodetic Reference System in two main long campaigns: May of 1997 and May of 2000. The time series of GPS positioning, meteorological observations and time series of gravity and ocean tides were compared. Some local dynamic effects were identified in both campaigns. As remarkable fact, strong correlations between time series of GPS vertical position variation and residual ocean tides for frequencies under 0.8 CPD were observed. The obtained results were doubtful because both GPS vertical positioning and ocean residual tides are affected by troposphere effects. The discussion for higher frequencies is also not conclusive because the lack of good local ocean model. Then, the Cananéia tide gauge in Brazil another tide gauge was used in a similar approach for understanding the referred correlation if observed. This tide gauge has a particular condition of an estuarine contribution with some particular frequencies that can not be associated with atmospheric effects. The obtained results are now more conclusive.

Keywords: Ocean/Earth/atmosphere interactions; Geocentric Reference Systems; Tides

1. INTRODUÇÃO

1.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS

Quando se fala de posicionamento geodésico em região costeira, duas modalidades são habitualmente discutidas: a) posicionamento geodésico referido ao Sistema Geodésico de Referência (SGR) onde as coordenadas referem-se a um modelo geométrico e se obtida a altitude, esta terá somente significado geométrico, por vincular-se a uma superfície de referência geométrica, sem significado físico; b) interesse na definição também de um significado físico para as altitudes, pela definição e realização de uma superfície equipotencial de referência, tal como tradicionalmente exigido pelas obras de engenharia e gerenciamento costeiro. Na realidade, este problema transcende ao do posicionamento em si, uma vez que está intimamente relacionado com uma visão moderna de um SGR, onde além das componentes geométricas, estão inseridos parâmetros físicos em sua definição, intimamente relacionados com o Geopotencial, tal como a definição de uma superfície de nível única para toda a Terra, preferencialmente o “Geóide Global” (. A realização dessa superfície tem sido buscada como única forma de uma completa definição e realização de um SGR global, já que a referência vertical, além de

fundamental no estabelecimento de SGRs e suas conexões, são também fundamentais na redução de grandezas gravimétricas continentais e oceânicas a um mesmo referencial e aplicações diversas em Oceanografia (e.g. circulação oceânica global), Geofísica (e.g. modelos isostáticos, tectônicos e de evolução geodinâmica), Geologia (e.g. gerenciamento de aquíferos continentais), Dinâmica Orbital (e.g. estabelecimento de modelos de predição baseados no geopotencial e suas variações temporais) entre outras (ALTAMINI et al., 2002).

1.2. GEÓIDE GLOBAL E GEÓIDE LOCAL

Os problemas associados com a definição de uma superfície de nível preferencial para todo o mundo, o referido “Geóide Global” (BURŠA et al. 2002), começaram a ser evidenciados principalmente a partir do momento em que materializações dos SGRs nacionais e continentais passaram a ser obtidas como densificações do International Terrestrial Reference Frame (ITRF), com acurácias estimadas em 2cm ou melhores, porém dependentes ainda da definição de parâmetros cinemáticos e dinâmicos adicionais, em vista das demandas das aplicações referidas na seção precedente. O Geóide Global é ainda hoje um objetivo distante, pois ainda a realização de Redes Geodésicas de Referência Verticais (RGRV) vinculam-se à definição e realização do Datum Vertical, que usualmente depende fortemente das observações costeiras do Nível Médio do Mar (NMM) durante certo período e reduzido a uma época, portanto sofrendo todo um conjunto de efeitos locais (posição) e temporais (época de observação, redução e efeitos sazonais, de longo período não modelados e efeitos eustáticos). Assim, mais de uma centena de Data Verticais ou “Geóides Locais” são ainda definidos e aplicados no mundo e têm sido exaustivamente investigados, buscando-se principalmente a identificação de efeitos físicos locais que possam justificar as discrepâncias observadas na conexão entre redes verticais de diferentes países, nos contextos de intercomparação de discrepâncias observadas entre diferentes marégrafos em um mesmo país, e também nos âmbitos regional, continental e global (FREITAS et al. 2002a).

1.3. POSICIONAMENTO VERTICAL E CONEXÃO DE REDES VERTICAIS

O projeto SIRGAS (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas) teve sucesso já em 1995 e também mais recentemente na campanha de maio de 2000 com mais de 180 estações, em obter coerências com o ITRF melhores que 2 cm em posições geométricas tridimensionais. No entanto, na América do Sul, as redes verticais de interesse apresentam usualmente discrepâncias maiores que 50 cm, aparentemente sem explicações. Em particular, no Brasil, discrepâncias entre o NMM observado por diferentes marégrafos distribuídos desde o Amapá até o Rio

Grande do Sul, apresentam discrepâncias até a ordem de 1 metro. Entre os propósitos do Grupo de Trabalho III do SIRGAS (WGIII – Vertical Reference System for the Americas) situa-se inicialmente o desenvolvimento de estudos para a ligação de todas as redes verticais da América do Sul e em estágio posterior com as da América Central e do Norte. Um passo inicial, buscando a construção de uma base de dados consistente foi a de nivelar todas as estações SIRGAS, com referência ao Datum Nacional dos países que as abrigam, realizar estações GPS em pontos próximos em ambos os lados de fronteiras internacionais e ligá-los também por nivelamento geométrico e também buscar estudar possíveis efeitos locais e variações temporais em cada um dos dados verticais nacionais, já que eventuais discrepâncias verificadas deverão ser explicadas não só por erros observacionais nas redes verticais, como também pela Topografia do NMM (TNMM) e outros aspectos físicos dinâmicos relacionados com cada um dos marégrafos utilizados como origem das redes (FREITAS et al. 2002a). Também, tal como proposto no título deste trabalho, esses efeitos costeiros afetam o posicionamento? – Na realidade, supõe-se que são diferentes proposições ou formas de visualização de um mesmo problema relacionado com a dinâmica da interação oceano-continente, afetando tanto a observação convencional do NMM como o posicionamento geodésico costeiro com modernas técnicas espaciais.

1.4. POSICIONAMENTO COSTEIRO GEOCÊNTRICO E EFEITOS DINÂMICOS

Desde 1995, um grupo de pesquisa ligado ao Laboratório de Instrumentação Geodésica da UFPR vem desenvolvendo pesquisas sobre efeitos dinâmicos no posicionamento geodésico com técnicas espaciais e de forma mais objetiva, a partir de 1997 passou a concentrar esforços em estudos relacionados com o Datum Vertical Brasileiro (DVB) em Imbituba, no contexto do Projeto SIRGAS. Um aspecto notável observado nas pesquisas sobre duas séries temporais longas de posicionamento vertical com GPS junto ao DVB (abril-maio de 1997 e Campanha SIRGAS 2000) foi a alta correlação entre a maré oceânica anômala e as variações de altitude com GPS, quando consideradas frequências abaixo de 0,8 CPD (FREITAS et al., 2002b). As marés oceânicas anômalas foram em ambos os casos bem explicadas por variações de longo período da pressão atmosférica. Uma dúvida presente nas correlações observadas foi se as variações na pressão atmosférica não induziam variações na refração troposférica suficientes para explicar as variações da posição vertical; ou ainda, devido a dimensão das bases utilizadas no processamento (315 km para períodos de 1 hora, se não eram problemas de ambigüidades mal resolvidas. As análises conduzidas para frequências mais altas também são duvidosas, uma vez que não existem modelos oceânicos consolidados para a região, tal que possam ser seguramente discriminadas as principais ondas componentes da

maré oceânica normal (BAKER, 2003). Então, um experimento envolvendo outro marégrafo (o de Cananéia – SP, com características estuarinas) foi desenvolvido. Nesta nova configuração, além de uma base menor envolvida (cerca de 125 km com períodos de observação de 2 horas). Efeitos similares e mais definidos que os observados em Imbituba foram detectados. Descartada agora a hipótese das ambigüidades mal resolvidas, foram analisadas as correlações nas séries temporais das posições verticais e marés oceânicas anômalas. Devido a característica estuarina, uma componente quarte-diarina não existente nas marés oceânicas convencionais para áreas oceânicas abertas e nem detectada nas variações da pressão atmosférica, foi evidenciada como correlacionada com a posição vertical determinada com GPS. Assim descarta-se a refração troposférica como causa das variações da posição vertical, apontando-se a carga oceânica não modelada nos aplicativos de processamento como razão das variações na posição.

2. EXPERIMENTO MULTI-PARAMÉTRICO EM CANANÉIA-SP

2.1. CARACTERIZAÇÃO DO EXPERIMENTO

A variação do NMM é um tema que tem sido extensivamente abordado na literatura atual, principalmente em função das conseqüências possíveis para o ambiente costeiro. LEATHERMAN et. al (2003), analisando as variações dos fenômenos de progradação e retrogradação na costa leste dos EUA, alertam que uma variação vertical no NMM produz efeitos de erosão ou deposição costeiras que atingem extensões horizontais maiores que 100 vezes as variações verticais. Alertam que as conseqüências possíveis são evidentes, desde possíveis substanciais perdas econômicas até a inviabilidade de uma série de atividades humanas. TRABANCO (2003), em sua pesquisa de doutorado, realizou uma série de estudos vinculados ao nível do mar tendo em mente como problemas de engenharia as possíveis implicações. Concluiu que muitas estruturas costeiras projetadas para um determinado NMM, sofrem grandes sobrecargas com pequenos aumentos do NMM. Estabeleceu um experimento envolvendo os dois marégrafos gerenciados pelo Instituto Oceanográfico da USP (Ubatuba e Cananéia), estabelecendo redes horizontal e vertical de controle geodésico de precisão, associadas a estes marégrafos. Tendo em vista recomendações do GTIII do SIRGAS relativamente a intercomparação do NMM em diferentes marégrafos (DREWES et al. 2002) e trabalhos em andamento no Brasil, visando a adequação do DVB e sua conexão com outros marégrafos brasileiros (LUZ et al., 2002 e IBGE 2001), os autores procederam um aprofundamento dos estudos junto ao marégrafo de Cananéia. Foram associados a esta estação também experimentos nos moldes dos preconizados por FREITAS et al. (2002b), uma vez que este marégrafo com uma longa série de observações situa-se em ambiente de características estuarinas e está conectado à

rede vertical brasileira. O fato mais importante é que para este marégrafo existem outros elementos discriminadores para a análise de interações oceano-continente que não puderam ser utilizados nos estudos associados com o DVB em Imbituba. Assim, foram observadas marés gravimétricas de junho de 2002 a fevereiro de 2003, em associação com marés oceânicas e registros contínuos de pressão atmosférica e temperatura. Em Cananéia foi implantada uma estação GPS com receptor geodésico de dupla frequência (TRIMBLE 4000SSI), que passou a operar continuamente a partir de julho de 2002. Ele vem sendo desde então utilizado para a determinação da posição geocêntrica do marégrafo (estão sendo produzidas análises semanais desde então) e um subconjunto de 15 dias de registros contínuos são empregados nas análises na seqüência, onde são intercomparadas séries temporais de marés oceânicas e gravimétricas, variáveis meteorológicas e estas com série temporal de altitudes com GPS.

2.2. RESULTADOS E ANÁLISES

2.2.1. Posição Geocêntrica do Marégrafo de Cananéia

A estação de Cananéia teve suas coordenadas obtidas a partir do processamento de blocos semanais de 25/07/2002 a 27/11/2002. Para tanto foi utilizado o software BERNESE v4.2, órbitas do IGS e tomadas como bases as estações RBMC PARA (Curitiba), UEPP (Presidente Prudente) e VICO (Viçosa) com coordenadas SIRGAS (ITRF97, época média de cada bloco). Fazendo a média dos resultados obtidos nestes blocos foram obtidas as coordenadas geodésicas do marco GPS ao qual o marégrafo tem sua posição vinculada, para a época 2002,7:

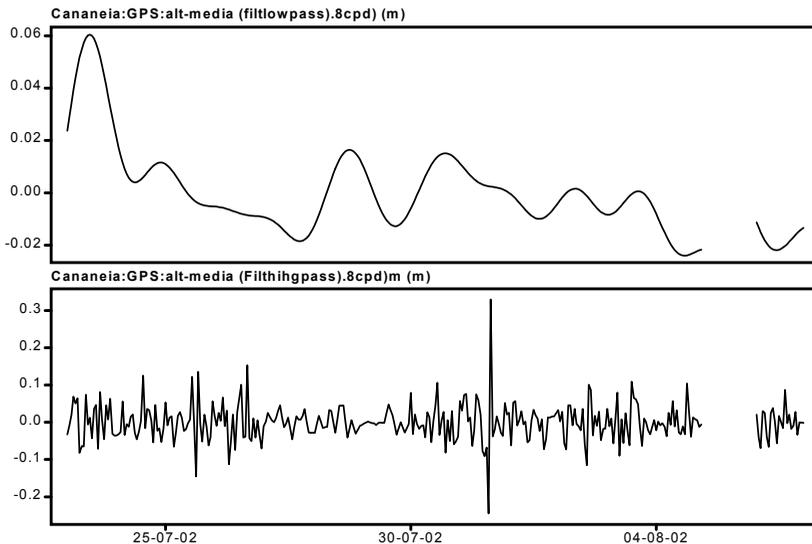
Latitude: 25° 01' 12,863679" ($\pm 0,000010''$) S
Longitude: 47° 55' 29,886162" ($\pm 0,000018''$) W
Altitude: 6,0573 m ($\pm 0,0031$ m)

Observa-se que enquanto as estimativas de acurácia para as coordenadas horizontais situam-se na ordem de grandeza sub-milimétrica, a da altitude elipsóidica apresenta-se na ordem de 3 mm, mesmo considerados os resultados médios de blocos semanais e suas promediações.

Em especial, dentro do período de observações contínuas com GPS, foi destacado um conjunto de observações com 15 dias, das 0 horas TU de 23/07/2002 às 0 horas TU de 07/08/2002. Este bloco foi processado fixando-se a estação PARA (a cerca de 125km) e dividindo o conjunto de observações em blocos de 2h de duração, para os quais foram calculadas coordenadas médias. Em especial, na figura 1 está representada a série temporal das diferenças das altitudes calculadas para cada período de 2h e a altitude média calculada com os blocos semanais. Também na

figura 1 estão apresentadas estas diferenças filtradas sendo suprimidas as frequências acima de 0,8CPD. Podem ser observadas variações na posição vertical de ± 30 cm para frequências horárias e de ± 3 cm para períodos maiores que 1 dia.

Figura 1: Representação da série temporal de variações da altitude elipsóidica para o período de 23/07/2002 às 0 horas TU ao 07/08/2002 às 0 horas TU em Cananéia. Ordenadas em metros.



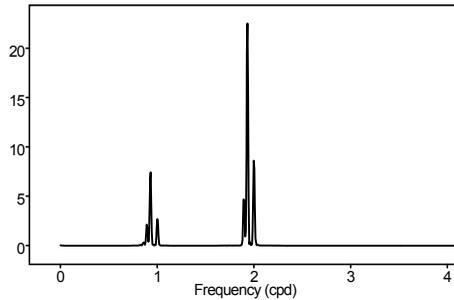
2.2.2. Características Espectrais das Marés Oceânica e Gravimétrica de Cananéia

Na figura 2 apresenta-se como exemplo o espectro para o carregamento oceânico predito pelo modelo CSR 3.0 – Texas University Ocean Tide Model derivado de observações com o TOPEX-POSEIDON e o modelo hidrodinâmico de Schwiderski para a estação Cananéia. Conforme TRABANCO(2003, pp 193 - 194), outros modelos aplicados para a região apresentam comportamento similar. Enquanto os modelos oceânicos para a região predizem somente componentes espectrais diurnas e semi-diurnas o espectro das marés oceânicas residuais apresentado na figura 3 contém componentes de longo período, diurnas, semi-diurnas, ter-diurnas e quarte diurnas. Características similares são apresentadas também no sinal residual das marés gravimétricas associado com efeitos indiretos do carregamento oceânico local. As componentes de longo período das marés oceânicas residuais são associadas a efeitos meteorológicos. Já as componentes residuais semi-

diurna e diurna são associadas a deficiências na modelagem em amplitude e/ou fase das marés teóricas para o local. Componentes ter-diurnas e quarte-diurnas das marés oceânicas locais, representam ressonâncias locais não previstas nos modelos.

Figura 2: Espectro dos modelos oceânicos (a) CSR 3.0 e (b) Schwiderski para a estação Cananéia.

(a)



(b)

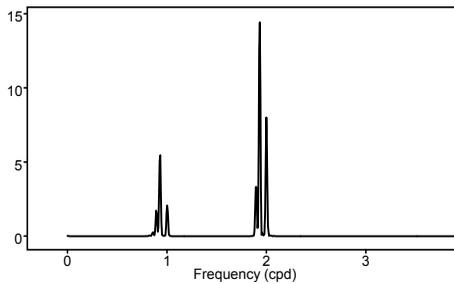
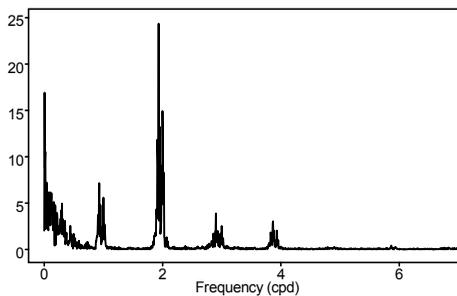


Figura 3: Espectro da maré oceânica residual (Observada menos Modelo) para a estação Cananéia



2.2.3. Correlações Observadas na Estação Cananéia

Buscando uma identificação das relações mais relevantes entre as grandezas observadas no experimento, foram efetivadas análise de correlações, as quais estão apresentadas na tabela 1.

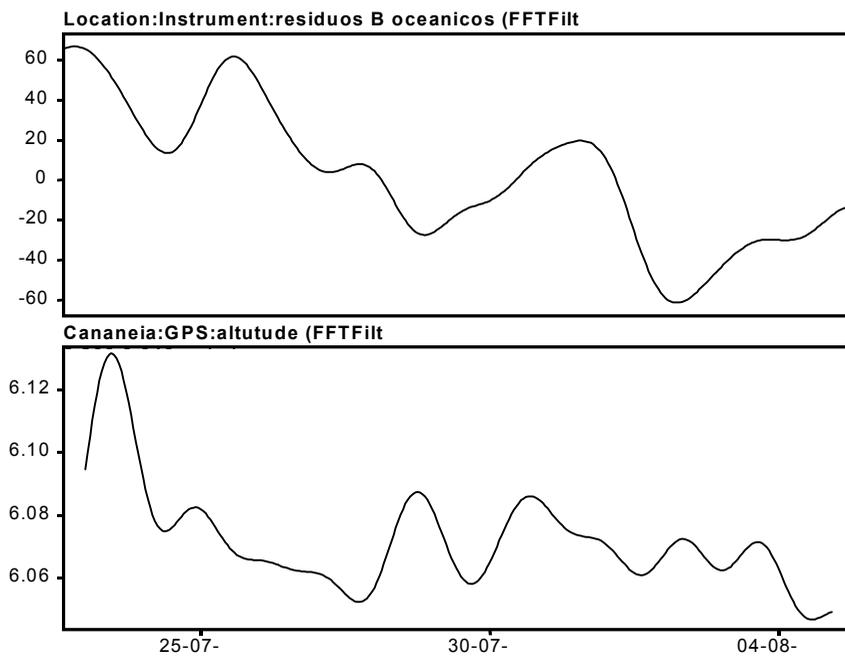
Tabela 1: Resumo das correlações mais importantes determinadas para Cananéia

Regressão entre	Coefficiente da correlação
Maré oceânica observada e variação da altitude elipsoidal (filt <0.8CPD)	0.593
Resíduo de maré oceânica corrigido do efeito do barômetro inverso x variações da altitude elipsoidal (filt <0.8CPD)	0.662
Resíduo de maré gravimétrica corrigidos do carregamento oceânico por Shwiderski x variações da altitude elipsoidal (filt <0.8CPD)	0.661
Resíduos da maré oceânica observada x resíduos de maré gravimétrica corrigidos por Schwidwerki (filt <0.8CPD)	0.385
Resíduos da maré oceânica x pressão (filt < que 0.8 CPD)	0.400
Pressão e variações da altitude elipsoidal (filt <0.8CPD)	0.597
Resíduo de maré gravimétrica corrigidos do carregamento oceânico por Shwiderski x variações da pressão atmosférica	0,116

Observa-se correlações notáveis entre as variações de altitude elipsoidal e as marés gravimétricas e as marés oceânicas residuais assim como com a pressão atmosférica. Então, as grandes correlações observadas relativamente à maré gravimétrica residual deve-se aparentemente à redistribuição de massas continentais e oceânicas e inclinações no pilar. Isto pode ser afirmado com segurança uma vez que mesmo que as variações da pressão atmosférica produzam efeitos na maré oceânica devido o efeito do barômetro inverso, tal não ocorre com o sinal da maré gravimétrica para longos períodos, já que os gravímetros a mola tem compensação para variações de pressão de baixas frequências. Os sinais de variação de pressão de altas frequências têm admitâncias bem determinadas para os gravímetros nas bandas

diurna, semi-diurna e ter-diurna (SCHWAB, 1999), tal que são usualmente corrigidas na análise se disponíveis observações de pressão, como foi o caso no presente estudo. Assim, as perturbações de longo período mais significativas no presente estudo são aquelas produzidas pela movimentos (periódicos ou não) e inclinação do pilar do gravímetro, derivas não lineares, efeitos térmicos não compensados, etc.. Assim as correlações com grandezas tais como efeitos oceânicos não modelados e variações da altitude alipsoidal são importantes elementos de discriminação.

Figura 4: Séries temporais da maré oceânica residual e de variações de altitude elipsoidal, para o período de 23/07/2002 0horas TU ao 07/08/2002 às 0horas TU em Cananéia. Sinais filtrados com a eliminação das freqüências maiores que 0,8 CPD

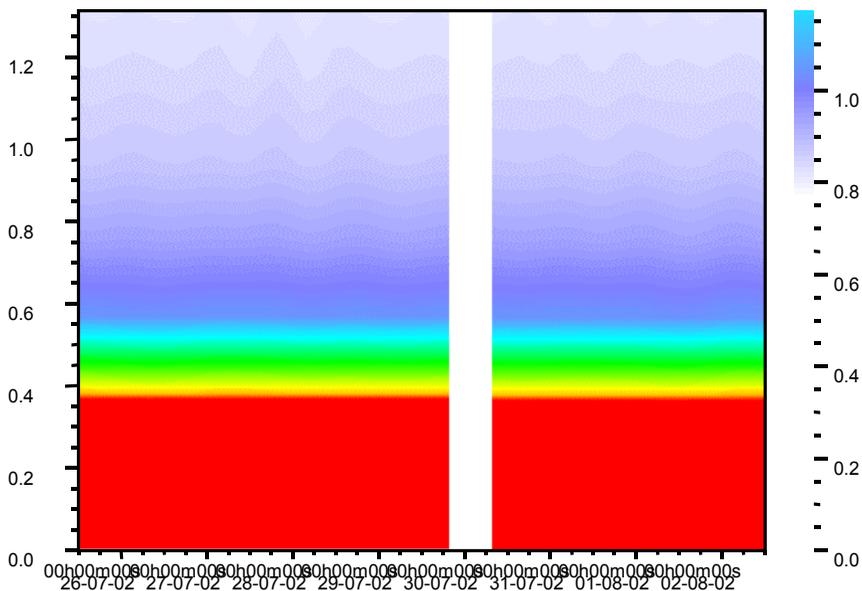


Na figura 4 estão apresentados em conjunto os sinais filtrados com a eliminação das freqüências maiores que 0,8 CPD para a maré oceânica residual e para as variações das altitudes elipsoidais determinadas com GPS em Cananéia. Estas duas séries temporais apresentam as maiores correlações entre todos os sinais analisados. Este aspecto é similar ao obtido por FREITAS et al. (2002b) para o DVB em

Imbituba, SC. Naquele trabalho persistiu uma dúvida de que os sinais de maré residual e de variações da altitude elipsoidal poderiam ser ambos causados por efeitos troposféricos. Aqui, o sinal de maré gravimétrica, conforme referido no parágrafo anterior já possibilitou uma indicação de que possivelmente as variações observadas pela altitude elipsoidal sejam efetivamente um efeito produzido pela carga da maré oceânica anômala em Cananéia.

Na figura 5, pode ser observado que na série temporal de altitudes elipsoidais com GPS, progressivamente, as maiores variações de altitude estão associadas com as perturbações de freqüências maiores. No entanto, existe energia significativa para freqüências menores que 1 CPD. Enquanto as freqüências maiores podem ser associadas com ambigüidades não resolvidas, flutuações troposféricas e ionosféricas e outros erros observacionais, as energias nas baixas freqüências devem ser justificadas conforme o parágrafo anterior.

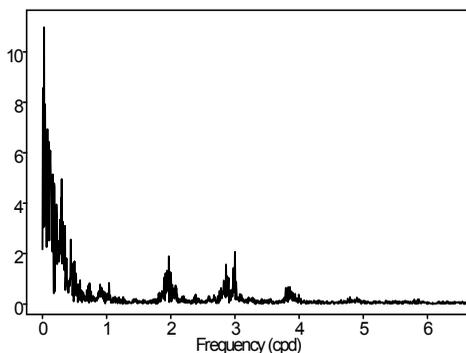
Figura 5: Espectro de janela móvel sobre a série temporal das variações de altitude elipsoidal, para o período de 23/07/2002 0horas TU ao 07/08/2002 às 0 horas TU em Cananéia. A esquerda amplitudes e a direita freqüências.



Na figura 6, está apresentado o espectro não filtrado das variações de altitude elipsoidal, obtido com ajustamento sobre os sinais obtidos para blocos sucessivos de

três dias de observações. Verifica-se neste claramente a presença de energias nas bandas ter-diurna e quarte-diurna, que são um fator a mais para corroborar a correlação entre variações anômalas o Nível do Mar e as variações de altitude elipsóidica, já que estas freqüências não estão presentes nos sinais meteorológicos que possam ser associados à variações na troposfera.

Figura 6: Espectro de freqüências não filtrado das variações de altitude elipsoidal obtido com ajustamento de blocos com 3 dias de duração, para o período de 23/07/2002 0horas TU ao 07/08/2002 às 0 horas TU em Cananéia.



3. CONCLUSÕES

O tema em tela, da relação das posições verticais obtidas com GPS e efeitos dinâmicos sobre estas é fundamental para o posicionamento costeiro com GPS e conexão de marégrafos com técnicas espaciais. Mesmo que períodos de alguns dias de observações sejam utilizados, ainda assim podem existir efeitos residuais das variações do nível do mar. Mesmo quando considerados blocos semanais, por longos períodos, como apresentado neste trabalho, ainda assim contata-se variações na posição vertical determinada.

As marés gravimétricas trazem uma insofismável contribuição para a análise espectral de efeitos da interação oceano-continente, mesmo que possam existir críticas quanto a resolução e calibração dos gravímetros para o estabelecimento de valores confiáveis de admitâncias. Conforme abordado, a resposta para as diferentes freqüências é claramente discriminada.

As análises efetivadas permitem afirmar com segurança que as correlações observadas entre as variações da altitude elipsoidal e as marés oceânicas anômalas para baixas freqüências não estão vinculadas a um efeito comum de variações das

condições troposféricas, pois existem também nas altas frequências em bandas onde não existe energia do sinal meteorológico e são corroboradas pelo sinal residual das marés gravimétricas.

4. REFERÊNCIAS

ALTAMINI, Z.; SILLARD, P.; BOUCHER, C. **ITRF2000: A new release of the International Terrestrial Reference Frame for Earth Science applications**. JGR 107(B10):ETG 2-1 – 2-19. 2002.

BAKER, T.F; BOS, M.S. **Validating Earth and ocean tide models using tidal gravity measurements**. Geophys. J. Int., 152: 468-485. 2003.

BURŠA, M.; KENYON, S; KOUBA, J.; RADÖJ, K; VATRT, V.; VOJTÍŠKOVÁ, M.; ŠIMEK, J. **World Height System Specified by Geopotential at Tide Gauge Stations**. In: DREWES, Hermann. (Org.). In: IAG Series 124, Vertical Reference Systems. Springer, Berlin, v. 124, p. 291-296. 2002

DREWES, H.; SÁNCHEZ, L.; BLITZKOW, D.; FREITAS, S.R.C. **Scientific foundations of the SIRGAS Vertical Reference System**. In: DREWES, Hermann. (Org.). In: IAG Series 124, Vertical Reference Systems. Springer, Berlin, v. 124, p. 297-301. 2002.

FREITAS, S.R.C; MEDINA, A.S.; LIMA, S.R.. **Associated problems to link South American Vertical Networks and possible approaches to face them**. In: DREWES, Hermann. (Org.). In: IAG Series 124, Vertical Reference Systems. Springer, Berlin, v. 124, p. 318-323. 2002a.

FREITAS, S.R.C.; SCHWAB, S.H.S.; MARONE, E.; PIRES, A.O.; DALAZOANA, R.. **Local effects in the Brazilian Vertical Datum**. In: ADÁM, József; SCHWARZ, Klaus-peter. (Org.). IAG Series 125: Vistas for Geodesy in the new Millennium. Springer, Berlin, v. 125, p. 102-107. 2002b.

LEATHERMAN, S.P.; DOUGLAS, B.C.; LABRECQUE, J.L.. **Sea level and coastal erosion require large-scale monitoring**. EOS Transactions, v. 84, 2: 13,16. 2003.

SCHWAB, S.H.S.. **Marés gravimétricas, influências ambientais e calibração instrumental: Estudo na estação Curitiba**. Tese de doutorado, Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas – UFPR, 239pp. 1999.

TRABANCO, J.L.A.. **Conceitos e técnicas modernas de monitoramento da crosta terrestre e sua vinculação com o estudo do nível médio do mar – uma análise das estações maregráficas de Cananéia e Ubatuba.** Tese de doutorado, Departamento de Transportes, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. 228 pp. 2003.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores desejam agradecer ao CNPq (Processos 520885/99-6 e 550830/2002-2), à CAPES e à FAPESP pelo apoio financeiro ao projeto e bolsas a estudantes vinculados.

PREDIÇÕES DO ATRASO ZENITAL TROPOSFÉRICO NA AMÉRICA DO SUL PARA POSICIONAMENTO GNSS EM TEMPO REAL

Luiz Fernando Sapucci¹
João Francisco Galera Monico²
Elizabeth Silvestre Espinoza³
Luiz Augusto Toledo Machado⁴

- 1 Universidade Estadual Paulista (FCT) – sapucci@prudente.unesp.br
- 2 Universidade Estadual Paulista (FCT) – galera@prudente.unesp.br
- 3 Instituto de Pesquisas Espaciais (CPTEC) – elizabet@cptec.inpe.br
- 4 Instituto de Pesquisas Espaciais (CPTEC) – machado@cptec.inpe.br

RESUMO

O GNSS (*Global Navigation Satellite System*), é uma iniciativa dos usuários civis das técnicas de navegação por satélite, que visa tornar a integração dessas técnicas um método alternativo à navegação aérea comercial. Para obter maior eficiência na utilização dessas técnicas em tempo real, há a necessidade de modelar adequadamente as fontes de erros presentes em suas observáveis. A troposfera, depois da ionosfera, é a maior fonte desses erros. Ao contrário da ionosfera, a modelagem adequada da troposfera na América do Sul não tem recebido a merecida atenção. Os modelos troposféricos disponíveis para aplicações em tempo real nessa região não são totalmente apropriados, pois foram desenvolvidos a partir de observações meteorológicas realizadas, em sua grande maioria, no hemisfério norte. Uma solução para esse problema seria a utilização dos modelos de Previsão Numérica do Tempo (PNT) que podem proporcionar previsões do atraso zenital troposférico, com algumas horas de antecedência, em qualquer local da América do Sul. Com o objetivo de investigar a contribuição que os modelos de PNT podem fornecer na modelagem da troposfera em tempo real, um experimento foi realizado. Os valores preditos por um modelo de PNT foram comparados com os valores estimados a partir de observações GPS pós-processadas. Considerando a promissora aplicação do GNSS no monitoramento do vapor d'água atmosférico, informação de grande importância para os meteorologistas, e que o atraso zenital troposférico deve ser estimado de forma apropriada para obter posicionamento GPS de qualidade, o presente trabalho visa mostrar para a comunidade geodésica brasileira os grandes benefícios que o sinergismo entre a Meteorologia e a Geodésia poderá trazer para ambas as ciências.

Palavras-chave: GNSS; Atraso Zenital Troposférico; PNT.

ABSTRACT

The GNSS (Global Navigation Satellite System) is a civil initiative of the navigation by satellite techniques users with the purpose of turning them as a commercial air traffic alternative method. The largest efficiency of such techniques is obtained, either in real time or post-processed, when all error sources are appropriately modeled. The ionosphere and troposphere are the largest error sources in these techniques. However, differently of the ionosphere, the tropospheric modelling in South America has not received appropriated attention. The available tropospheric models to be applied in real time are inappropriate. They were developed using, in great majority, meteorological observations from Northern Hemisphere. A solution to this problem would be the application of Numerical Weather Prediction (NWP) models to generate zenithal tropospheric delay predictions, with some hours of antecedence, at any place of South America. The objective of this paper is to investigate the NWP models contribution for real time tropospheric modelling. An experiment was accomplished where the NWP model predicted values are compared with zenithal tropospheric delay estimated from pos-processed GPS observations. Considering the very promising application of GNSS in the atmospheric water vapor estimation and that high precision zenithal tropospheric delay estimation is very important for high precision positioning, and that these information are very important for meteorologists and geodesists respectively, the present work has as main objective to show to the Brazilian geodetic community the great benefits that can be obtained from the synergism between the Meteorology and Geodesy sciences.

Keywords: GNSS; Zenithal Tropospheric Delay; NWP.

1. INTRODUÇÃO

O GNSS (*Global Navigation Satellite System*), ao integrar os vários sistemas de posicionamento por satélite existente, tem como principal objetivo viabilizar a navegação de alta precisão. É uma iniciativa que permite disponibilizar as técnicas de navegação por satélite como um método alternativo à navegação aérea comercial. Em 2010 será implantado o CNS-ATM (*Communication Navigation System-Air Traffic Management*), um novo sistema de navegação e gerenciamento do tráfego aéreo que irá modificar o atual sistema de navegação para um sistema onde o GNSS assumirá um papel de grande importância, a idéia é compactar ainda mais os aviões

nas aerovias nas proximidades dos aeroportos. Isso trará um aumento considerável na segurança dos usuários, principalmente durante as manobras mais críticas que são os pousos e decolagens das aeronaves. Para isso, os pesquisadores envolvidos com o GNSS têm trabalhado no desenvolvimento de técnicas que possibilitem assegurar a integridade e disponibilidade dos sistemas de navegação que o compõem, além de incentivar o desenvolvimento de modelos que minimizem, em tempo real, os erros presentes nas observáveis de tais sistemas.

Atualmente, as maiores fontes de erros nas observáveis GNSS são as influências da troposfera e da ionosfera. Como as camadas que compõem a atmosfera são altamente variáveis espacialmente, a modelagem das mesmas deve ser regionalizada. Na América do Sul, modelos da ionosfera específicos para essa região têm sido desenvolvidos, visando viabilizar a aplicação dos sistemas de posicionamento via satélite na navegação aérea (CAMARGO, 1999). Quanto à troposfera, o desenvolvimento de modelos troposféricos específicos para a América do Sul não tem tido a merecida atenção, se considerada a importância do tema no posicionamento via satélite em tempo real. Os modelos disponíveis para modelar a troposfera foram desenvolvidos a partir de dados meteorológicos coletados, em sua maioria, em regiões do hemisfério norte, não sendo totalmente apropriados para a América do Sul. Uma solução para esse problema seria desenvolver tais modelos a partir de informações meteorológicas coletadas nessa região. No entanto, ainda assim ficaria uma dúvida quanto aos valores de temperatura e pressão à superfície, exigidos para o bom desempenho dos modelos em tempo real (SAPUCCI & MONICO, 2001). A utilização desses valores obtidos de forma indireta, a partir de uma atmosfera padrão, é responsável pelas maiores imprecisões nessa modelagem, pois gera perda da sensibilidade dos modelos às variações diárias e anuais do atraso zenital troposférico.

Uma solução para esse problema na América do Sul seria a utilização dos modelos de Previsão Numérica do Tempo (PNT) que podem, além de fornecer valores de temperatura, umidade e pressão à superfície, proporcionar previsões do atraso zenital troposférico com algumas horas de antecedência, em qualquer local da América do Sul.

A técnica denominada "Previsão Numérica do Tempo" é rotineiramente utilizada para prever o tempo através de processos computacionais ao utilizar equações matemáticas para descrever o comportamento da atmosfera segundo algumas leis físicas que o governam. Como é grande a dificuldade de se obter soluções exatas para essas equações em épocas futuras, empregam-se técnicas de modelagem numérica dando origem aos modelos de "Previsão Numérica do Tempo".

O objetivo desse trabalho é investigar a contribuição que os modelos de PNT podem fornecer na modelagem em tempo real da principal influência da troposfera, que é o atraso na propagação dos sinais GNSS. Com o emprego das funções de

mapeamento esse problema se reduz à determinação na direção zenital onde os perfis gerados pelo modelo de PNT podem ajudar na solução. Com o objetivo de avaliar a performance dos modelos de PNT nessa nova aplicação, é realizado um experimento onde predições do atraso zenital troposférico geradas por esse modelo são comparados com valores estimados a partir de observações GPS (*Global Positioning System*) pós-processadas, simulando uma aplicação em tempo real.

2. MODELOS DE PREVISÃO NUMÉRICA DO TEMPO (PNT)

Devido ao crescente interesse nas previsões de fenômenos meteorológicos, a previsão do tempo por métodos numéricos teve grande desenvolvimento nos últimos anos, apesar de ainda ser um grande desafio científico. O seu princípio é bastante simples: conhecendo as leis de evolução do estado da atmosfera, pode-se calcular o seu estado futuro no instante t , se é conhecido o seu estado inicial no instante t_0 . No entanto, a complexidade dos modelos para a obtenção das previsões são muitas e exige alta capacidade computacional (CHALEYAT *et al.*, 2003).

O sucesso na previsão está relacionado à capacidade de se modelar, com maior eficiência, a atmosfera terrestre e descrever com precisão o estado inicial. Para isso utilizá-se as leis fundamentais da mecânica e da termodinâmica para o ar e a água presente na atmosfera. Além disso, devem-se considerar as especificidades do sistema climático, como a esfericidade da Terra, a influência dos raios solares, o papel do relevo, dos oceanos e da vegetação, etc. Essa modelagem tão minuciosa gera um sistema extremamente complexo, que é necessário para privilegiar a interação de fenômenos físicos, químicos e biológicos que ocorrem na atmosfera terrestre.

Essa modelagem pode ser traduzida em um sistema de equações que relacionam diversas grandezas meteorológicas como pressão, temperatura, umidade, direção e velocidade do vento, em diversos níveis de altitude, as quais têm forte correlação entre si, além de dependerem de outras variáveis. As suas derivadas com relação ao tempo t ou em relação as coordenadas x , y e z compõem um sistema de derivadas parciais cuja complexidade impossibilita a obtenção de uma solução exata. Assim, a busca de uma boa aproximação dos valores da solução desse sistema é o único recurso disponível. Isto é obtido por processos numéricos que, apesar de serem muitos, têm como idéia básica discretizar as equações no espaço e no tempo em um número finito de células. Considera-se que no interior de cada uma das células as grandezas meteorológicas têm um valor uniforme. Obtem-se assim, um sistema com equações simplificadas em que o número de incógnitas, apesar de grande, é finito. Isso permite que a solução possa ser obtida numericamente com o emprego dos supercomputadores.

Os modelos que rodam atualmente podem ser classificados pela área de abrangência da superfície modelada. Eles podem ser globais ou regionais. Os

modelos globais cobrem toda a superfície do globo enquanto que os modelos regionais, têm uma melhor resolução espacial abrangendo somente porções da superfície terrestre. Entre os diversos modelos Globais pode-se destacar, pela sua sofisticação, o modelo EMC (*Environmental Modeling Center*) do NCEP (*National Centers for Environmental Prediction*) do EUA. O modelo do CPTEC (Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais INPE), em Cachoeira Paulista-SP, o único operacional na América Latina, e uma derivação do modelo do NCEP. Como possuem melhor resolução espacial, o emprego dos modelos regionais certamente pode fornecer valores do atraso zenital troposférico mais precisos que os modelos globais. No entanto, os modelos globais têm grande importância nesse processo, pois estes fornecem condições iniciais e condições de contorno lateral para a inicialização dos modelos regionais, uma vez que os fenômenos atmosféricos não possuem limites geográficos.

3. PREDIÇÕES ATRASO ZENITAL TROPOSFÉRICO USANDO OS MODELOS DE PNT

A variação na refratividade atmosférica (N) causa mudanças na direção e diminuição na velocidade das ondas eletromagnéticas ao se propagarem na troposfera. Isso gera na trajetória dos sinais GNSS uma leve curvatura, se comparada à trajetória geométrica entre um satélite no espaço e um receptor na superfície da Terra. A diferença entre o comprimento da trajetória efetivamente percorrida pelo sinal (S) e o comprimento da trajetória geométrica (S_g) é denominado atraso troposférico (D_{TROP}), dado por:

$$D_{TROP} = S - S_g = 10^{-6} \int N ds . \quad (1)$$

Para facilitar a modelagem das variações da refratividade, e por consequência o atraso troposférico, são empregadas as funções de mapeamento (DAVIS, *et al.*, 1985; NIEL, 1996; entre outros). Por intermédio delas, as variações da refratividade em uma direção qualquer podem ser tratadas na direção zenital, considerando apenas a concentração dos gases na coluna vertical atmosférica. Desta forma, a refratividade atmosférica pode ser considerada como uma função da temperatura (T), da densidade do ar (ρ) e da pressão parcial do vapor d'água (e), com valores variando em função da altitude (h). Assim tem-se (SPILKER *et al.*, 1994):

$$DZ_{trop} = 10^{-6} \int_{h_0}^{\infty} k_1 R_h \rho dh + \int_{h_0}^{\infty} (k_2' \frac{e}{T} Z_w^{-1} + k_3 \frac{e}{T^2} Z_w^{-1}) dh , \quad (2)$$

onde DZ_{trop} é o atraso zenital troposférico, $R_h = 287,0538 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$ é a constante específica para os gases hidrostáticos, Z_w^{-1} é o inverso da constante de compressibilidade do vapor d'água, $k_1 = 77,60 \text{ K hPa}^{-1}$, $k_2' = 22,10 \text{ K hPa}^{-1}$ e $k_3 = 373900 \text{ K}^2 \text{ hPa}^{-1}$ são constantes da refratividade atmosférica cujo valores foram determinados experimentalmente (BEVIS et al., 1994).

Devido ao tipo de comportamento dos gases que compõem a troposfera, o atraso zenital troposférico (Dz_{trop}) é dividido em duas componentes: úmida (Dz_w), formada pela influência do vapor d'água, e hidrostática (Dz_h), formada pela influência dos demais gases que compõem a atmosfera. A componente hidrostática é modelada pela primeira parcela da equação (2), enquanto que a componente úmida é modelada pela segunda parcela dessa equação. Nota-se que o atraso zenital troposférico da componente hidrostática depende apenas da densidade do ar atmosférico. Por isso, seus valores podem ser determinados a partir de medidas de pressão à superfície (P_0) em hPa , da latitude do local (φ), e da altitude (h_0) em quilômetros. A expressão para a determinação do Dz_h é dada pela equação (DAVIS et al., 1985):

$$Dz_h = (2,27683157 \times 10^{-3}) \frac{P_0}{(1 - 0,0026 \cos 2\varphi - 0,00028h_0)}. \quad (3)$$

A precisão dos valores de Dz_h fornecidos pela equação (3) depende da qualidade das medidas de pressão atmosférica. Para barômetros com precisão de $0,5 \text{ hPa}$ a precisão dos resultados obtidos pela equação (3) é de 1 mm .

Aplicando os valores preditos das variáveis prognósticas gerados pelo modelo de PNT na segunda parcela da equação (2), realizando uma integração numérica, é possível determinar valores do atraso zenital troposférico da componente úmida nos mesmos intervalos em que o modelo numérico gera as previsões. Por outro lado, aplicando os valores de pressão atmosférica à superfície, preditos pelo modelo, na equação (3) pode-se obter o atraso zenital da componente hidrostática. Resta, portanto, avaliar a qualidade dos valores obtidos ao aplicar essa técnica.

4. AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DAS PREDIÇÕES DO DZ_{TROP}

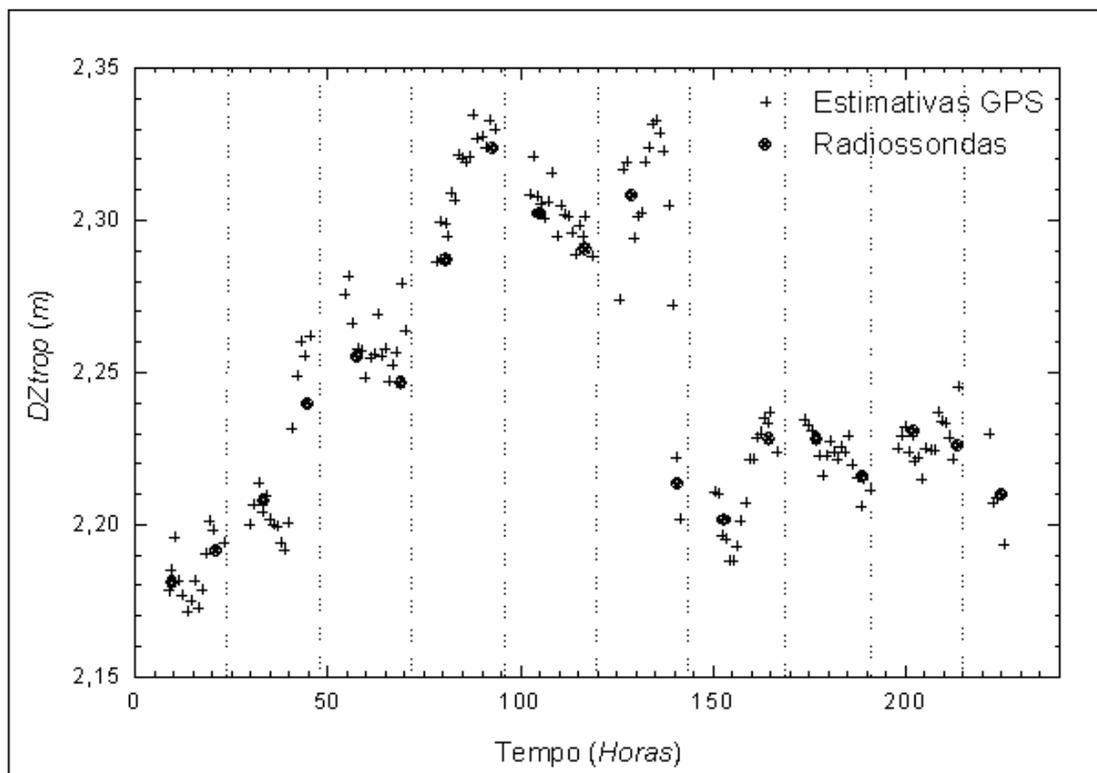
Para avaliar a qualidade dessas previsões, foi realizado um experimento onde é feita a comparação dos valores do DZ_{trop} preditos pelo modelo de PNT com valores estimados utilizando dados GPS. Os dados GPS foram processados no software GOA-II (*GIPSY: GPS Inferred Positioning SYstem; OASIS: Orbit Analysis and Simulation Software II*) (GREGORIUS, 1996) gerando estimativas do atraso zenital

troposférico. Tais estimativas são usadas nesse trabalho como valores de referência para avaliar a qualidade das previsões do DZ_{trop} obtidas pela aplicação do modelo de PNT. Por isso, serão apresentados os resultados de uma campanha onde foram realizadas coletas de dados GPS simultaneamente ao lançamento de radiossondas, visando mostrar a boa qualidade das estimativas geradas pelo GOA-II. As radiossondas são munidas de dispositivos que medem *in loco* as quantidades atmosféricas que estão relacionadas com o atraso troposférico (como pressão, temperatura e umidade) ao percorrer o perfil vertical troposférico utilizando um balão inflado com hidrogênio ou hélio. A radiossonda é o meio utilizado para medir as variáveis dinâmicas e termodinâmicas da atmosfera, para a descrição das condições iniciais que serão assimiladas pelo MPNT. A utilização da radiossondagem permite determinar precisamente o DZ_{trop} .

4.1. INDICADORES DE QUALIDADE DAS ESTIMATIVAS DO DZ_{TROP} OBTIDAS NO GOA-II

A campanha de coleta de dados GPS simultâneo ao lançamento de radiossondas foi realizada no aeroporto Campo de Marte em São Paulo pelo DPV (Destacamento de Proteção ao Vôo) da FAB (Força Aérea Brasileira), no período de 21 a 30 de junho de 2001 (dias 172 ao 181 de 2001). As radiossondas utilizadas na campanha

FIGURA 01 – VALORES DO DZ_{trop} OBTIDOS PELO GOA-II E PELA UTILIZAÇÃO DE RADIOSSONDAS.



são da marca VAISALA, modelo RS-80. E a antena GPS utilizada é da marca ASHTECH, modelo Marine III – L1/L2 - ASH 700700.C, e o receptor GPS é da marca ASHTECH, modelo ZXII.

Para a determinação do atraso zenital troposférico, os dados GPS foram processados pelo GOA II utilizando o método de posicionamento por ponto de alta precisão (MONICO, 2000), com intervalo de processamento de 30 segundos e ângulo de elevação mínimo do satélite de 10° . A função de mapeamento utilizada foi a de Niell (NIELL, 1996). Os valores do atraso troposférico foram estimados pela aplicação do processo estocástico *Random Walk* (GREGORIUS, 1996) para cada intervalo de 5 minutos da campanha. Os valores do atraso zenital troposférico foram quantificados a partir de uma integração numérica dos dados dos perfis atmosféricos coletados pelas 19 radiossondas lançadas. A figura 1 apresenta os valores do D_{ZW} determinados por ambas as técnicas. Os valores obtidos a partir das observações GPS se referem à média para cada período de 30 minutos dessa campanha.

Analisando a Figuras 1 pode-se notar que as estimativas do DZ_{trop} obtidas pelo GPS mostram boa compatibilidade com os valores gerados pelas radiossondas avaliadas. Os indicadores de qualidade, ao tomar os valores obtidos pelas radiossondas como referência, comprovam isso, pois o erro médio foi de 2 mm e o desvio padrão de 9 mm, gerando um EMQ (Erro Médio Quadrático) de apenas 10 mm. Nessa análise, o fato de que também as radiossondas apresentarem incertezas em seus valores não pode deixar de ser considerado. Por esse motivo, as diferenças encontradas acima estão dentro do erro das medidas e portanto não são significativas.

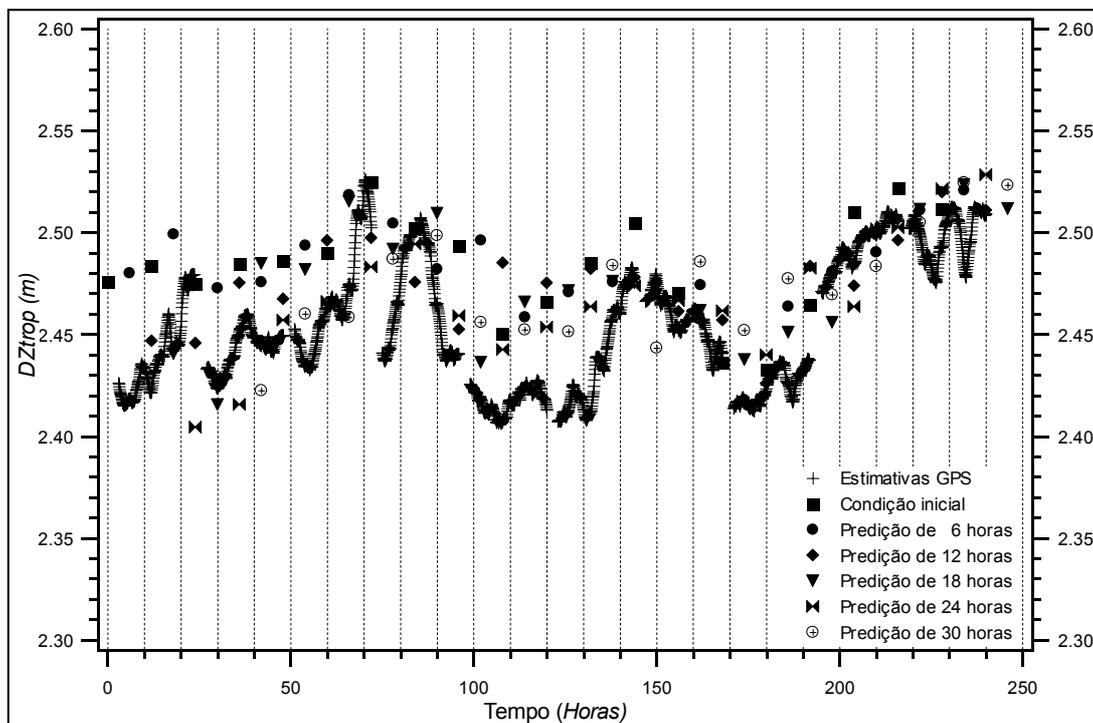
4.2. EXPERIMENTO PARA AVALIAÇÃO DAS PREDIÇÕES DO DZ_{TROP} OBTIDAS PELO MODELO DE PNT

As previsões do DZ_{trop} avaliadas nesse experimento são provenientes do modelo regional ETA que é utilizado operacionalmente no CPTEC. Esse modelo possui uma resolução horizontal de 40 km com 38 camadas no perfil vertical, cujo domínio cobre a maior parte da América do Sul e oceanos adjacentes. As previsões são geradas duas vezes ao dia, uma com condição inicial às 00:00 e outra às 12:00 UTC. A condição inicial é proveniente da análise do NCEP e as condições de contorno lateral são provenientes das previsões do modelo global do CPTEC e atualizadas a cada 6 horas. O prazo de integração é de 72 horas. As variáveis prognósticas do modelo são: temperatura, umidade específica, ventos, pressão à superfície, energia cinética turbulenta e água líquida da nuvem. A partir de cada ponto de grade (as células mencionadas anteriormente) é possível gerar perfis verticais das variáveis prognósticas em um ponto qualquer da área sob abrangência do modelo através de técnicas de interpolação. Valores das variáveis prognósticas

são preditos para 6, 12, 18, 24, 30, 36, 42, 48, 54, 60, 66 e 72 horas após a inicialização do modelo.

Para a realização do experimento, foi interpolado, a partir das saídas do modelo ETA do CPTEC, perfis e valores à superfície para as coordenadas da antena GPS da estação UEPP da RBMC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sinais GPS). As variáveis contidas em tais perfis foram: temperatura, pressão atmosférica, altitude geopotencial e umidade relativa. Os valores de tais variáveis foram aplicados na segunda parcela da equação (2) e através de integração numérica foram geradas as previsões do atraso zenital troposférico da componente úmida. Os valores de pressão à superfície gerados pelo modelo foram aplicados na equação (3) para determinar previsões do atraso zenital troposférico da componente hidrostática. Com a soma dessas componentes foram calculados os valores do DZ_{trop} .

FIGURA 02 – COMPARAÇÃO DAS ESTIMATIVAS GPS COM AS PREDIÇÕES DO DZ_{trop} DE 6, 12, 18, 24 e 30 HORAS OBTIDAS PELO MODELO DE PNT/CPTEC.

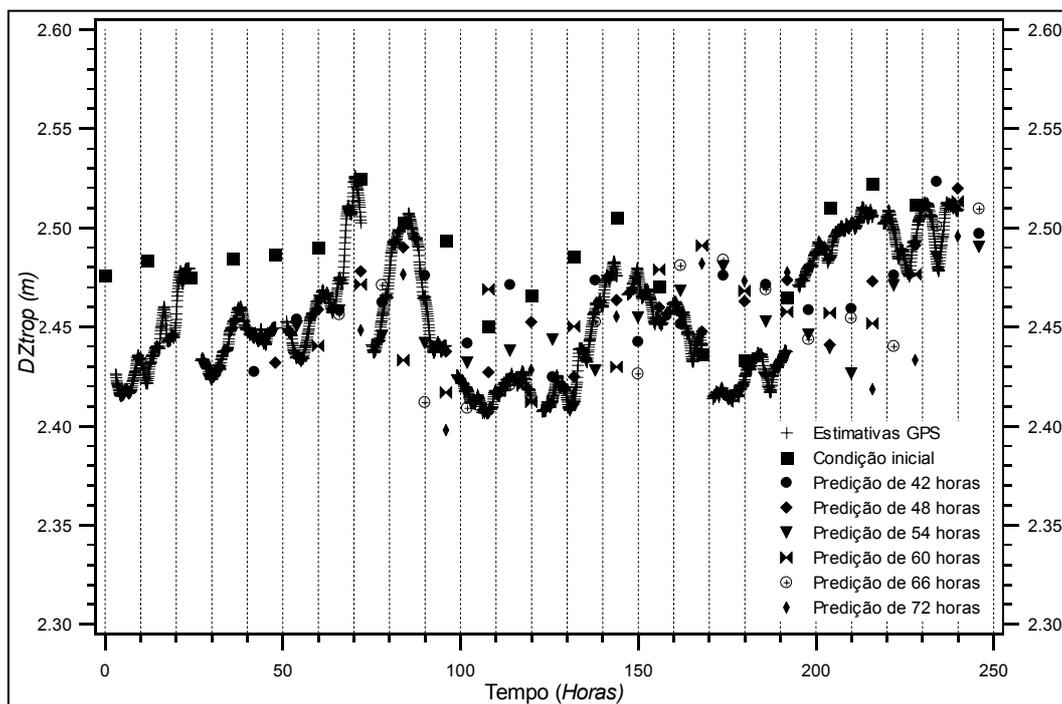


Para avaliar a qualidade dessas previsões são utilizados como valores de referência às estimativas do atraso zenital troposférico geradas pelo processamento dos dados GPS coletados na estação UEPP no *software* GOA-II. O tipo de processamento utilizado é o mesmo descrito na seção anterior. O período escolhido para a comparação dos valores compreende o período entre os dias 16 e 25 de novembro de 2002.

4.3. RESULTADOS

As figuras 2 e 3 mostram as diferenças entre as previsões do Dz_{trop} obtidas pelos perfis gerados pelo de PNT e as estimativas GPS. Nessas figuras os valores do DZ_{trop} são apresentados em função do tempo (em horas UTC) tendo uma referência inicial a primeira hora do dia 16/11/2002. Na figura 2 estão presentes os resultados obtidos a partir dos perfis da condição inicial do modelo, das previsões de 6, 12, 18, 24, e 30 horas, além das estimativas GPS em maior destaque. Na figura 3, além das mesmas estimativas GPS da figura 2, são apresentados os resultados obtidos a partir dos perfis das previsões de 42, 48, 54, 60, 66 e 72 horas. A condição inicial do modelo também está presente nessa última figura para verificar a tendência das previsões mais afastadas da inicialização do modelo. As previsões de 36 horas não estão presentes devido a um erro que ocorreu ao gerar seus perfis. As lacunas nas estimativas GPS são decorrentes de falhas na configuração do receptor, que ficou sem coletar dados das 0 hora até as 3 da manhã durante os dias em que foram realizadas as comparações.

FIGURA 03 – COMPARAÇÃO DAS ESTIMATIVAS GPS COM AS PREDIÇÕES DO DZ_{trop} DE 42, 48, 54, 60, 66 E 72 HORAS OBTIDAS PELO MODELO DE PNT/CPTEC.



Em uma primeira análise dos resultados mostrados nas figuras 2 pode-se notar que as previsões são compatíveis com as estimativas GPS e que acompanharam as pequenas oscilações do DZ_{trop} que ocorreram no período avaliado. No entanto, nota-se também a presença de um possível erro sistemático que mantém as previsões acima das estimativas GPS. As diferenças não são regulares, pois em certos períodos

as predições se afastam das estimativas (como é o caso entre as horas 90 e 140), e em outras elas se aproximam bastante (entre 150 e 200).

Na figura 3 nota-se que as predições de 48 à 72 horas após a condição inicial apresentaram tendência de diminuição dos valores do DZ_{trop} , chegando a oscilarem entre as estimativas GPS. Um fato que deve ser ressaltado é que as predições mais próximas da época inicial apresentaram menor dispersão, o que é de se esperar considerando o aumento do erro do modelo a medida que a previsão avança no tempo. Tal dispersão se mantém alta em todo o período avaliado. Visualmente é maior em torno da hora 200 onde também é maior a quantidade de predições.

Para uma análise mais minuciosa das diferenças entre as técnicas avaliadas, na tabela 1 são apresentados os valores dos indicadores de qualidade das predições ao tomar como referência as estimativas GPS. Os valores apresentados nessa tabela confirmam as afirmações feitas acima. O EMQ indica que o uso das predições pode gerar um erro de 1-2% apenas, o que é um resultado muito bom se comparado com os erros gerados pelos modelos disponíveis sem utilizar informações de pressão temperatura e umidade à superfície. O erro médio diminuiu consideravelmente para as predições mais distantes da época inicial, chegando a 1 mm. No entanto, a dispersão aumentou consideravelmente, como já discutido anteriormente. O fato do número de comparações ser pequeno, entre 17 e 19 apenas, deve ser levado em consideração nessa análise. A suspeita da possível presença de um erro sistemático nos resultados do experimento é confirmada pelos valores do erro médio apresentado na tabela 1. Nas predições de poucas horas, onde a dispersão é menor o erro médio é negativo, o que indica uma tendência nos resultados.

TABELA 01 – INDICADORES DE QUALIDADE DAS PREDIÇÕES DO DZ_{trop} GERADAS PELO MODELO DE PNT/CPTEC

INDICADORES DE QUALIDADE				
Predição (Horas)	Número de comparações	Erro médio (m)	Desvio Padrão (m)	EMQ (m)
0	19	-0,0282	0,0204	0,0348
6	20	-0,0325	0,0248	0,0409
12	18	-0,0192	0,0295	0,0352
18	19	-0,0212	0,0231	0,0314
24	18	-0,0065	0,0312	0,0318
30	18	-0,0160	0,0258	0,0303
42	17	-0,0070	0,0300	0,0308
48	17	0,0008	0,0243	0,0243
54	17	0,0054	0,0323	0,0327
60	17	0,0012	0,0368	0,0368
66	17	0,0096	0,0355	0,0368
72	17	0,0113	0,0436	0,0451

As oscilações do *DZtrop* ocorrida durante o período em que foi realizado o experimento não favoreceu a avaliação da qualidade das previsões. A ausência de mudanças bruscas da umidade, da temperatura ou da pressão gerou pequenas oscilações, o que não permitiu analisar o comportamento das previsões em situações mais críticas da modelagem troposférica.

5. COMENTÁRIOS FINAIS E CONCLUSÕES

Os resultados obtidos no experimento mostram que a aplicação dos modelos de PNT na modelagem da troposfera em tempo real é bastante promissora. O uso dos perfis gerados pelo modelos de PNT na determinação do *DZtrop* gerou previsões com boa qualidade e sensíveis às pequenas oscilações diárias. As maiores falhas na modelagem da troposfera pelos modelos convencionais é que eles não acompanham as oscilações diárias e anuais do atraso zenital troposférico (SAPUCCI, 2001). Porém, a possível presença de erros nos resultados obtidos indica que há a necessidade de mais pesquisas nessa área que tenha o objetivo de refinar as previsões do *DZtrop*.

Inicialmente há a necessidade de avaliar de forma mais eficiente tais previsões, utilizando um período maior de dados e outras estações distribuídas na América do Sul. Uma outra iniciativa nessa direção seria avaliar a qualidade das previsões nas diferentes componentes do atraso troposférico. Para isso há a necessidade de um barômetro de boa qualidade e com pequena taxa de coleta junto à estação GPS, com a finalidade de avaliar as previsões da pressão à superfície geradas pelos modelos de PNT.

Com o adequado refinamento das previsões, e com o desenvolvimento de uma estratégia operacional de interpolação dos perfis, e distribuição das previsões do *DZtrop* gerados pelos modelos de PNT, estará disponível uma ótima opção na modelagem da troposfera na América do Sul. Isso beneficiará não só a navegação aérea, mais toda a comunidade geodésica envolvida em atividades que utilizam a aplicação das técnicas GNSS em tempo real.

Devido aos fins pelos quais ela foi concebida, atualmente a RBMC apenas permite técnicas de pós-processamento GPS, pois os dados são disponibilizados para os usuários só após o término do dia. No entanto, quando passar a disponibilizar os dados em intervalos menores, diversas outras áreas da ciência serão beneficiadas. Com o processamento quase em tempo real dos dados GPS coletados pela RBMC diversos subprodutos de interesse dessas áreas podem ser gerados. Uma dessas áreas é a meteorologia, pois com a aplicação do GPS na quantificação do vapor d'água integrado na atmosfera (*IWV*), a partir do atraso zenital troposférico, os meteorologistas podem passar a usufruir dessa infra-estrutura para obter informações desse importante elemento atmosférico. A baixa precisão e a falta de continuidade na obtenção dos valores do *IWV* são algumas das maiores fontes de erros na previsão

da precipitação pluviométrica gerada pelos modelos de PNT. Assim, as estimativas do atraso zenital troposférico, geradas quase em tempo real a partir dos dados GPS da RBMC, poderão ser assimiladas nos modelos de PNT contribuindo com as previsões meteorológicas e com a própria geodésia na melhoria das previsões do atraso zenital troposférico geradas por esse mesmo modelo. Com essas considerações acredita-se que o presente trabalho atingiu seu principal objetivo, que é mostrar para a comunidade geodésica brasileira os grandes benefícios que o sinergismo entre a Meteorologia e a Geodésia poderá trazer para ambas as ciências e por consequência, à sociedade brasileira.

6. REFERÊNCIAS

BEVIS, M. G., CHISWELL, T. A. HERRING, R. ANTHES, C. ROCKEN, E R. H. WARE. *GPS Meteorology: Mapping zenith wet delays into precipitable water*. J. Appl. Meteor., 33, 379-386, 1994.

CAMARGO, P. O. Modelo Regional da Ionosfera Para Uso em Posicionamento com Receptores de uma Freqüência. Curitiba, 1999. 196p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Paraná.

CHALEYAT M., BRETTE, J., DARCHE, M, GOLDSTEIN, C., MASHAAL, M., TRONEL, G. *Prever o tempo um grande desafio*. Disponível em < www.fc.up.pt/cmup/monograph/posters_todos.html> Acesso em: 10 abr. 2003.

DAVIS, J. L., HERRING, T. A., SHAPIRO I., ROGERS, A .E., ELGENED, G. *Geodesy by Interferometry: Effects of Atmospheric Modeling Errors on Estimates of Base Line Length*. Radio Sci., vol. 20, 1593-1607, 1985.

GREGORIUS THIERRY. *How it Works... GIPSY OASIS II*, Departament of Geomatics University of Newcastle upon Tyne, 1996.

MONICO, J. F. G. Posicionamento Pelo NAVSTAR-GPS: Descrição, Fundamentos e aplicações. Editora Unesp, 291 p., 2000.

NIELL, A. E. *Global Mapping Functions for the Atmosphere Delay at Radio Wavelengths*. Journal of Geophysical Research, Vol. 101, No.B2, Pages 3227-3246, 1996.

SAPUCCI, L F, MONICO, J. F. G. Avaliação dos modelos de Hopfield e de Saastamoinen para a modelagem do atraso zenital troposférico em território

Brasileiro utilizando GPS. In: Séries em Ciências Geodésicas 30 anos de Pós Graduação em Ciências Geodésicas no Brasil. Curitiba, 2001, v. 1, p. 47-61.

SAPUCCI, L. F. *Estimativa do vapor d'água atmosférico e a avaliação da modelagem do atraso zenital troposférico utilizando GPS*. Presidente Prudente, 2001. 165p. Dissertação de Mestrado– Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista.

SILKER, J., J. JR., *Tropospheric Effects on GPS*. American Institute of Aeronautics and Astronautics. Vol 1 Capítulo 13, pg. 517 – 546, 1994.

7. AGRADECIMENTOS

Este trabalho contou com o suporte financeiro da FAPESP – Fundação de Amparo a Pesquisa no Estado de São Paulo, Processo N° 01/12761-9.

PRECISÃO E CONFIABILIDADE DO POSICIONAMENTO RTK COM O EMPREGO DO PROGRAMA GNRT

Jaime Freiberger Junior¹
Cláudia Pereira Krueger²

Universidade Federal do Paraná

¹ freiberger@geoc.ufpr.br ² ckruieger@cce.ufpr.br

RESUMO

O posicionamento em tempo real pela técnica RTK vem sendo incorporado nas atividades que envolvem levantamentos cadastrais e hidrográficos, monitoramento de veículos, controle preciso de máquinas dentre outros. Neste trabalho, apresentam-se o conceito desta técnica de posicionamento e os resultados obtidos a partir de testes realizados com o emprego do programa GNRT em 10 marcos relativos implantados em uma área urbana de Curitiba-PR. No intuito de se analisar a influência da localização geográfica da estação de referência na repetibilidade das soluções, os marcos relativos foram reocupados com o emprego de outro marco de referência. Foram analisados o tempo de fixação das ambigüidades e as precisões alcançadas nos diversos levantamentos.

Palavras chaves: RTK, GNRT, Posicionamento em Tempo Real

ABSTRACT

Real Time Kinematic positioning has been introduced into applications which comprise land surveying, hydrography, vehicles and traffic control etc. This work is occupied with the concept of this positioning technique in using GRNT-software for 10 relative marks and the results are obtained from some tests performed in Curitiba-PR. In order to analyse the influence of the geographic localization of the reference station on the solutions repeatability, reoccupations were carried out over the relative marks by using other reference mark. Time to fix ambiguities and the obtained precisions with the several measurements were analysed.

Keywords: RTK, GNRT, Real Time Positioning

1. INTRODUÇÃO

O posicionamento por satélites com o GPS (*Global Positioning System*) tornou-se uma prática comum em diversas aplicações após a liberação de uso à comunidade civil. As coordenadas geográficas com precisão aceitável para levantamentos cadastrais podem ser obtidas quando os dados armazenados na memória física dos receptores são submetidos ao pós-processamento, após a coleta em campo. Entretanto, algumas aplicações exigem que este processamento seja realizado em tempo real a fim de fornecer estas coordenadas instantaneamente. Tal fato é alcançado por meio de técnicas de posicionamento diferenciais, e.g. RTK e PDGPS.

Neste trabalho são apresentados alguns resultados de levantamentos RTK realizados no ano de 2002, em uma área teste localizada na região metropolitana da cidade de Curitiba. Foi empregado o programa GNRT na geração das correções diferenciais e determinação das coordenadas geodésicas em tempo real. Inicialmente instalou-se a estação de referência no marco RM03 e após uma série de ocupações em marcos de coordenadas geodésicas precisas e pré-determinadas, os mesmos foram reocupados empregando-se outra estação de referência (ADMN) a fim de se testar a repetibilidade das observações e a ocorrência de possíveis melhoras na qualidade do posicionamento.

2. TÉCNICA RTK

A técnica RTK (*Real Time Kinematic*) é destinada ao posicionamento de alta precisão em tempo real. Exige a disponibilidade de pelo menos uma estação de referência equipada com um receptor GPS e um rádio modem transmissor. Esta estação gera e transmite as correções diferenciais para uma estação móvel, que se utiliza destas informações para determinar sua posição.

O formato das correções diferenciais é definido pelos padrões recomendados pela RTCM (*Radio Technical Committee for Maritime Service*). Para efetuar o enlace de comunicação são utilizados rádios transmissores que normalmente operam nas faixas de frequência VHF/UHF para este tipo de aplicação. A grandeza de observação fundamental empregada no RTK é a medida da fase da portadora, que permite obter-se precisão subdecimétrica ou melhor (Krueger 1996 p. 55).

O emprego de correções diferenciais conduz a uma minimização da influência dos erros atuantes devido à distância entre a estação de referência da estação móvel. Dentre estes erros citam-se: os erros do relógio do satélite, os erros das efemérides e os erros da propagação do sinal na atmosfera, que limitam a precisão do posicionamento de 1 a 10 ppm (Wübbena et al. 1996 p. 1846). Contudo, a técnica RTK se restringe a linhas de base de até 10 km devido ao alcance limitado do enlace UHF e também porque a determinação da posição nesta técnica emprega apenas a solução da portadora L_1 , ainda

que a portadora L_2 esteja presente para acelerar a resolução das ambigüidades (Willgalis et al. 2002 p. 3).

O termo ambíguo “N”, contido nas medidas da fase da portadora, é o número inteiro de comprimentos de onda existente entre as antenas do satélite e a do receptor. A alta precisão oferecida pela técnica RTK é alcançada após a determinação destas ambigüidades enquanto a estação móvel estiver em movimento (Monico 1990 p. 219). Com o aumento da distância entre as estações (linha de base), há necessidade de um maior tempo de rastreo para que haja a fixação das ambigüidades (Wübbena/Bagge 1995 p. 10). Na técnica RTK a diminuição da linha de base é um fator de favorecimento à resolução das ambigüidades (Bauer, 1997, p. 311).

3. PROGRAMA GNRT

O GNRT é um programa GPS desenvolvido para a determinação de coordenadas geográficas em tempo real. É constituído de um conjunto de módulos concebidos como programas independentes que funcionam em um ambiente operacional multitarefa, podendo ser configurado para gerar e transmitir dados de correção de código e da fase da portadora a partir de dados brutos de medições fornecidos por receptores GPS ou GLONASS (Wübbena et al. 1996 p. 1846). As correções diferenciais são codificadas no formato otimizado RTCM++ e transferidas da estação de referência para a estação móvel, que as introduz em suas próprias observações para calcular sua posição em tempo real (Wübbena/Bagge 1995 p. 8).

O GNRT possui uma estrutura flexível, ou seja, seu funcionamento independe da marca dos receptores, e pode receber configurações próprias, conforme as precisões desejadas. Uma alternativa para tornar viável o emprego deste programa em levantamentos que exigem alta precisão é a utilização do módulo GNRT-K, que processa observações da fase da portadora para se obter soluções subdecimétrica ou melhor (FREIBERGER, 2002, p. 5). Alguns campos de emprego do GNRT e as precisões obtidas estão indicados no quadro 1.

QUADRO 1 – APLICAÇÕES E PRECISÃO DO PROGRAMA GNRT

Atividade	Aplicação	Precisão
Navegação	Terrestre, marítima e aérea	0,1 – 5 m
Hidrografia	Levantamento de perfis	1 – 5 m
Posicionamento e monitoramento	Máquinas	1 cm
	Embarcações	1 – 5 m
Medições	Cadastro, locação	1 cm
	Deformações	0,1 – 1 cm

Fonte: Geopp (2002).

4. LEVANTAMENTOS RTK

4.1 DEFINIÇÃO DA ÁREA TESTE, MARCOS DE REFERÊNCIA E MARCOS RELATIVOS

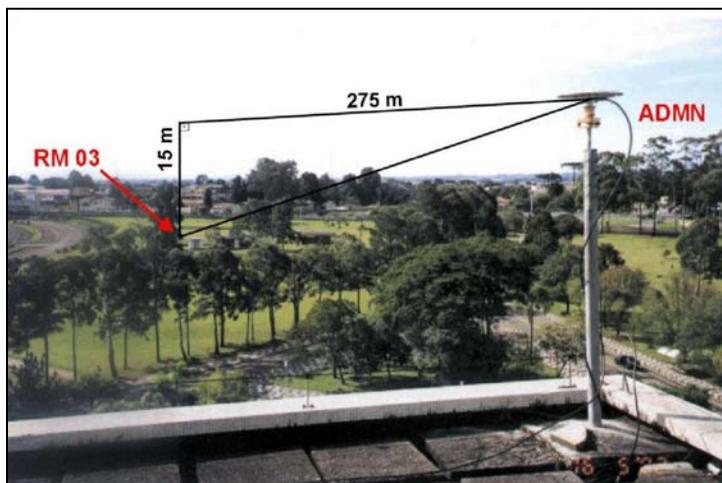
A área dos levantamentos está circunscrita ao Centro Politécnico da Universidade Federal do Paraná, local onde se encontra o Laboratório de Geodésia Espacial (LAGE).

Foram empregados dois marcos como estações de referência RTK: RM03 e ADMN. Inicialmente ocupou-se o marco RM03, excêntrico ao marco PARA (pertencente à Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo e ligado ao Sistema de Referência Geocêntrico para a América do Sul – SIRGAS).

Na seqüência, o marco ADMN, que consiste de um ponto materializado por uma haste metálica localizada sobre a laje de cobertura do edifício da administração do Centro Politécnico. Estes marcos estão separados por uma distância horizontal aproximada de 275 metros e altimétrica aproximada de 15 metros.

A figura 1 ilustra a localização destes marcos no campus do Centro Politécnico cujas coordenadas geodésicas referenciadas no WGS 84 estão indicadas no quadro 2.

FIGURA 1 – VÉRTICES RM03 E ADMN



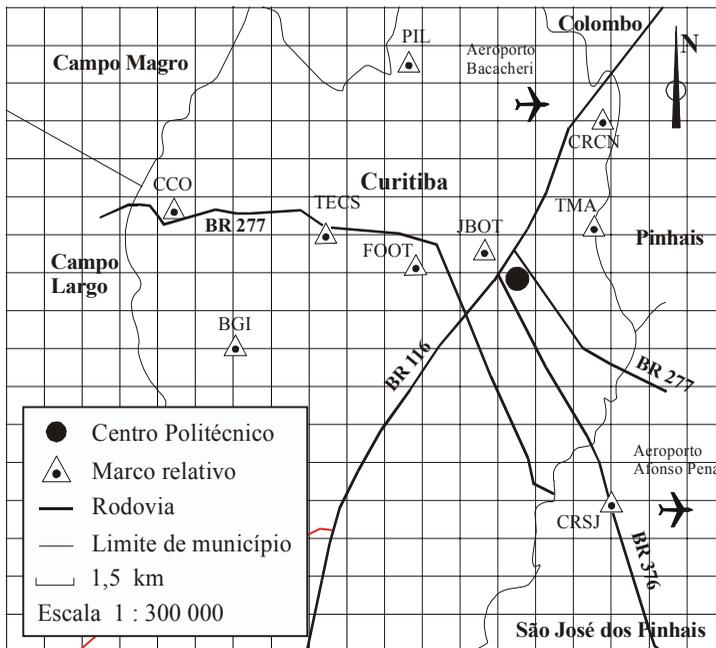
QUADRO 2 – COORDENADAS GEODÉSICAS DOS MARCOS RM03 E ADMN

Marco	Latitude φ	Longitude λ	Altitude
RM03	-25° 26' 54,12910"	-49° 13' 51,43680"	925,758
ADMN	-25° 27' 02,22386"	-49° 13' 55,57402"	939,490

Nota: altitude geométrica (em metros).

Os marcos relativos foram definidos por 10 estações de coordenadas geográficas precisas. Estes marcos possuem diferentes linhas de base em relação às estações de referência RM03 e ADMN que variam de 1,5 a 14 km conforme ilustra a figura 1.

FIGURA 2 – CONFIGURAÇÃO GEOMÉTRICA DA ÁREA DE TESTE



Nota: escala 1:300.000.

No quadro 3 estão listados a identificação dos marcos relativos, suas coordenadas geográficas (WGS 84) e o comprimento aproximado da linha de base (CLB) em relação às estações RM03 e ADMN.

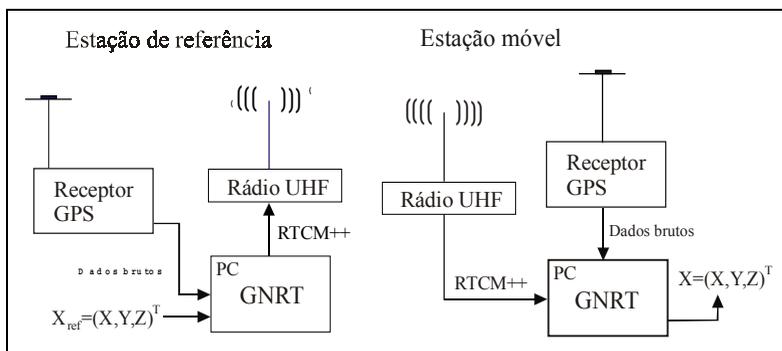
QUADRO 3 – MARCOS RELATIVOS (WGS 84)

Marco	Latitude φ	Longitude λ	Altitude (m)	CLB (km)
PIL2	-25° 27' 15,66942"	-49° 14' 11,54940"	912,394	1,0
JBOT	-25° 26' 35,19921"	-49° 14' 41,03635"	927,986	1,5
TMA	-25° 25' 56,07256"	-49° 12' 02,91070"	884,779	3,5
FOOT	-25° 27' 00,70660"	-49° 16' 23,26524"	906,690	4,0
CRCN	-25° 23' 35,63203"	-49° 11' 53,74758"	928,783	7,0
TECS	-25° 26' 14,37667"	-49° 18' 37,33982"	925,247	8,0
PIL	-25° 22' 21,51893"	-49° 16' 32,72677"	985,494	9,5
CRSJ	-25° 32' 04,78631"	-49° 11' 28,24849"	902,193	10,0
BGI	-25° 28' 47,15551"	-49° 20' 34,13203"	912,841	11,5
CCO	-25° 25' 46,35839"	-49° 22' 10,13910"	976,171	14,0

4.2 LEVANTAMENTO DE CAMPO

A estrutura dos elementos que compõem a estação de referência e móvel está representada na figura 3.

FIGURA 3 – ESTRUTURA DAS ESTAÇÕES DE REFERÊNCIA E MÓVEL



Foram utilizados os seguintes equipamentos nestes levantamentos de campo:

a) receptor Ashtech Z-XII geodésico de dupla frequência (L1 e L2), antena de recepção;

b) sistema de comunicação – rádios Pacific Crest (2 e 35 W, UHF);

c) microcomputador (programa GNRT em sistema operacional OS-2).

Inicialmente foi utilizado o marco RM03 como estação de referência (seção 4.1).

O módulo GNRT-K gerou e transmitiu continuamente as correções no formato RTCM++ para a estação móvel, esta efetuando ocupações nos marcos relativos (figura 2, seção 3.1). Elas foram executadas com a antena GPS estacionária, i.e., devidamente instalada sobre o marco de interesse e tomadas as medidas de altura inclinada da antena visando a obtenção da altura vertical, que foi inserida no programa.

Em cada marco foram realizadas 2 ocupações com intervalo de 1 hora entre elas objetivando-se uma mudança na constelação GPS. Efetuou-se em média 10 inicializações visando determinar as ambigüidades inteiras nestas seções. Posteriormente, a estação de referência foi trasladada para o vértice ADMN (figura 1, seção 4.1) e repetido todo o procedimento descrito anteriormente.

4.3 RESULTADOS E ANÁLISES

Após a ocupação dos marcos da área teste (figura 2, seção 4.1) e obtenção das coordenadas geodésicas em tempo real, foram analisadas a qualidade destes resultados. O tempo GPS de referência, as coordenadas geodésicas e os respectivos desvios padrão foram retirados de arquivos de texto gerados pelo próprio módulo GNRT-K.

As análises realizadas consistiram na comparação dos valores das coordenadas geodésicas obtidos em tempo real pela técnica RTK com os valores precisos das coordenadas geodésicas dos marcos (quadro 3). Estas comparações permitiram expressar a qualidade posicional da técnica RTK, determinando-se os erros resultantes em latitude, longitude e altitude das seções de observações realizadas em cada ocupação nos marcos relativos.

Estes erros podem ser expressos pela variação em distância entre duas posições: a posição obtida com a técnica RTK e a posição de referência precisa. Na determinação dos erros planimétricos, adotou-se a equação dada por RICHARDUS e ADLER (1972, p. 41) para o cálculo do comprimento de um arco infinitesimal sobre o elipsóide (equação 1):

$$ds^2 = M^2 d\varphi + N^2 \cos^2\varphi d\lambda^2 \quad (1)$$

onde:

ds: arco de deslocamento infinitesimal;

M: raio de curvatura da seção meridiana;

N: raio de curvatura da seção transversal;

φ : latitude geodésica local;

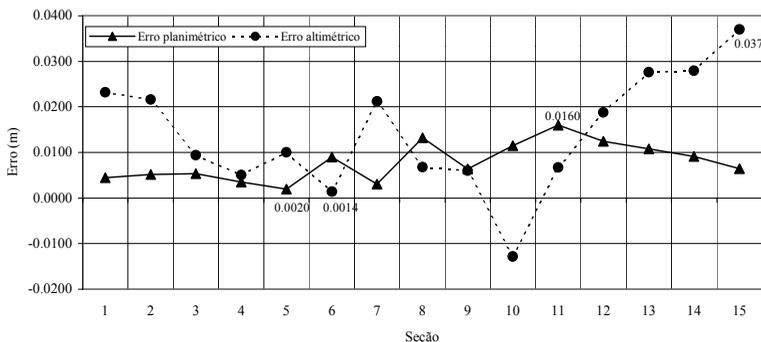
d φ : arco de deslocamento infinitesimal em latitude geodésica (expressa em radianos);

d λ : arco de deslocamento infinitesimal em longitude geodésica (expressa em radianos);

Os erros altimétricos foram determinados pela diferença algébrica entre o valor das altitudes geométricas obtidas no levantamento RTK e o valor das altitudes geométricas precisas.

Nestas análises, adotou-se o limite de precisão planimétrica igual a 1 cm correspondente à precisão fornecida pelo programa GNRT em levantamentos cadastrais adicionada à limitação de 10 ppm imposta aos levantamentos em tempo real em decorrência dos erros que dependem do comprimento da linha de base. Na figura 4 estão indicados os erros planimétricos e altimétricos das 15 seções efetuadas no marco TMA, distante 3,5 km da estação de referência.

FIGURA 4 – ERROS EM LATITUDE E LONGITUDE (MARCO TMA)

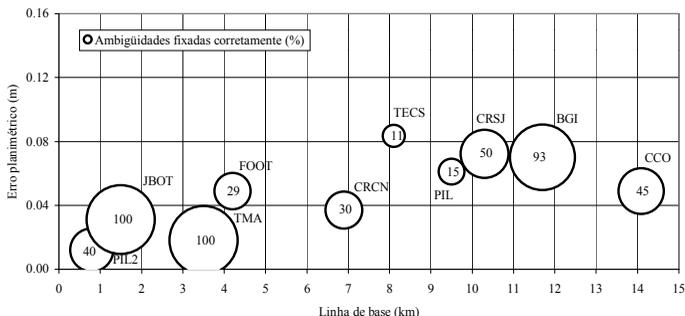


Verifica-se que os valores mínimo e máximo da componente planimétrica foram iguais a 2 mm e 16 mm, respectivamente, e na componente altimétrica foram de 1,4 mm e 37 mm, respectivamente, mostrando a viabilidade de se obter soluções da ordem do milímetro com o emprego deste sistema. Constata-se que os erros altimétricos tiveram uma maior variação ao longo do tempo em relação aos erros planimétricos.

A porcentagem das soluções cujos erros planimétricos resultaram em valores iguais ou inferiores a 1cm+10ppm (soluções consideradas corretas) é aqui denominada de confiabilidade do posicionamento. Esta confiabilidade é dada pela relação entre a quantidade de seções com solução correta e a quantidade total de seções realizadas dentro de uma ocupação. Na figura 5 apresentam-se as estações relativas organizadas em ordem crescente de linha de base, onde os círculos representam a confiabilidade do posicionamento. O centro de cada círculo, se projetado no eixo das coordenadas, indicará o erro planimétrico médio calculado em função das duas ocupações realizadas no marco relativo.

Os erros planimétricos médios em questão foram calculados com base na média aritmética dos erros ocasionados (dentro da precisão de 1cm+10ppm) nas seções de observação. Da mesma forma foi determinada a confiabilidade do posicionamento, baseada nestas soluções aceitas neste limite de precisão.

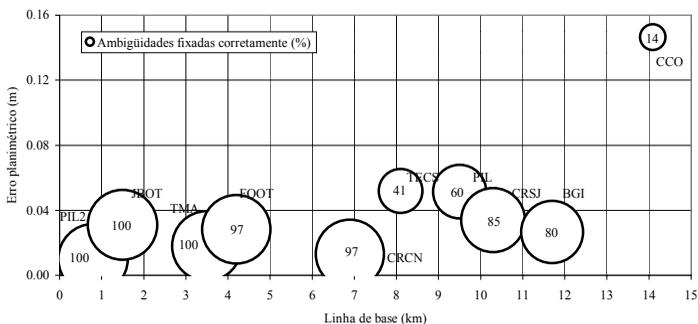
FIGURA 5 – PRECISÃO E CONFIABILIDADE (RM03)



Verifica-se que, conforme a linha de base cresce, há uma tendência de aumento dos erros planimétricos acompanhada de uma redução da confiabilidade, principalmente a partir das linhas de base de 5 km. Apenas os marcos JBOT e TMA tiveram todas as soluções válidas, ou seja, 100% de seções cujos erros planimétricos foram inferiores a 1cm+10ppm.

A mesma análise foi realizada quando da mudança da estação de referência do marco RM03 para o marco ADMN (figura 6).

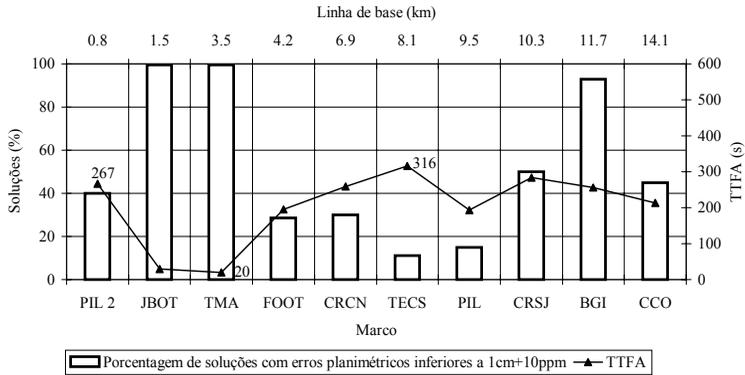
FIGURA 6 – PRECISÃO E CONFIABILIDADE (ADMN)



Verifica-se que houve melhoras em precisão e confiabilidade na maioria dos marcos relativos, exceto no marco CCO, distante cerca de 14 km das estações de referência. O marco BGI, embora tenha recebido uma redução em confiabilidade de 93 para 80%, a média do erro planimétrico melhorou de cerca de 7,8 cm para pouco menos de 4 cm.

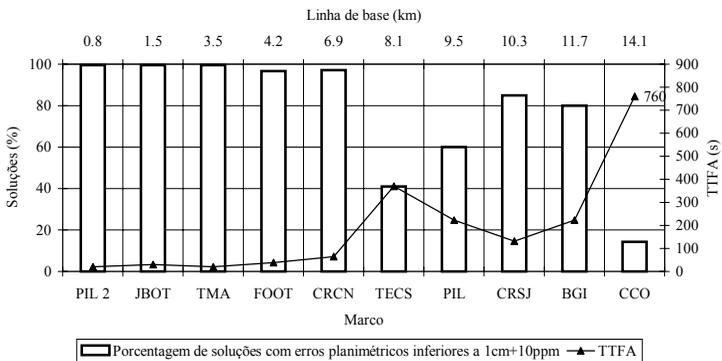
Visando relacionar a influência do comprimento da linha de base na confiabilidade e no tempo despendido pelo programa para determinar os inteiros das ambigüidades (tempo de fixação das ambigüidades – TTFA), foi gerado um gráfico (figura 7) que resume as estações relativas em ordem crescente de linha de base e os correspondentes valores de confiabilidade e TTFA.

FIGURA 7 – CONFIABILIDADE E TTFA (RM03)



É possível notar que a confiabilidade e o TTFA estão em uma relação inversa, i.e., os menores valores de TTFA (cerca de 25 segundos) são verificados nos marcos que tiveram alta confiabilidade como é o caso dos marcos JBOT e TMA. Assim, no marco TECS, onde se verifica o maior TTFA médio (316 segundos), tem-se a menor quantidade de soluções válidas (11%).

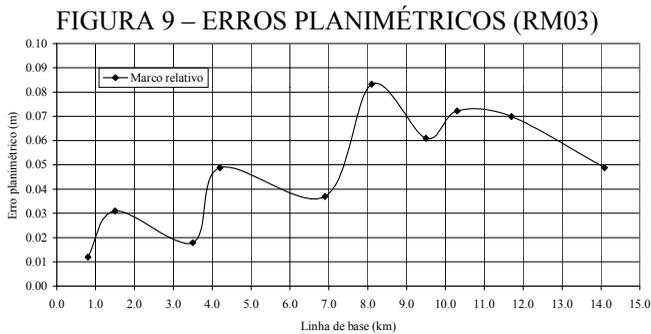
FIGURA 8 – CONFIABILIDADE E TTFA (ADMN)



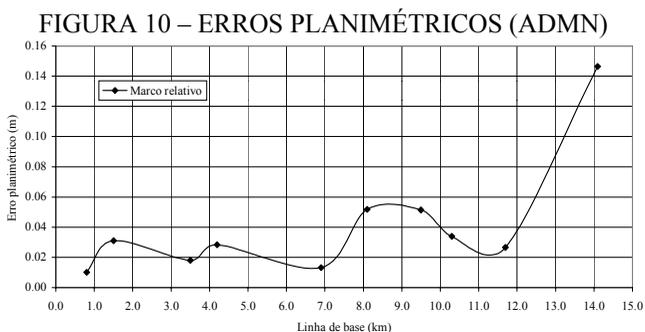
Na Figura 8, correspondente aos resultados dos levantamentos com o emprego da estação de referência ADMN, observa-se que houve uma uniformização dos valores de TTFA nos marcos relativos com linha de base de até 5 km.

No marco CCO, distante cerca de 14,1 km da estação de referência, constata-se que houve maior dificuldade para o programa resolver as ambigüidades inteiras em vista dos altos valores de TTFA verificados (760 segundos), acompanhados de uma redução na confiabilidade do posicionamento (de 45 para 14% das ambigüidades fixadas corretamente). Nota-se ainda que permanece a tendência de aumento do TTFA conforme cresce a linha de base.

Na figura 9 foi construída uma curva formada pelos marcos relativos, que foram plotados de acordo com o comprimento da sua linha de base e o valor do erro planimétrico obtido. Nota-se que existe uma correlação entre o comprimento da linha de base e os erros planimétricos.



Da mesma forma, na figura 10 está representada a ocupação dos marcos relativos com o emprego da estação de referência ADMN. Observa-se que a mudança da estação de referência promoveu uma considerável melhora em precisão nas linhas de base com comprimento de até 12 km. O resultado não foi satisfatório nas linhas de base maiores.



5. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

No emprego de ambas as estações de referência RM03 e ADMN os resultados atendem às especificações técnicas para aplicações em levantamentos cadastrais, indicando a viabilidade da técnica RTK com uso do programa GNRT para permitir um rendimento adequado nos levantamentos cadastrais.

Com base nos resultados obtidos verificou-se que a mudança da estação de referência foi viável nas linhas de base de até 10 km, revelando uma melhora de 30 % na precisão do posicionamento planimétrico com uma redução média de 25% no TTFA.

No sentido de investigar a precisão e confiabilidade alcançadas no posicionamento RTK faz-se necessário que se realizem mais experimentos com um número maior de marcos relativos. As áreas de sombra, que supostamente afetaram a confiabilidade do posicionamento nos marcos relativos PIL2, TECS e CCO, devem ser melhor investigadas no sentido de se obter um mapeamento destas áreas na tentativa de neutralizar os efeitos negativos no posicionamento com o GPS preciso.

Dessa forma, disponibilizar-se-á mais informações que possam esclarecer o comportamento do sistema RTK (e.g. tempo de fixação das ambigüidades, precisão entre outras variáveis) frente às influências sistemáticas cujas causas permanecem obscuras.

6. REFERÊNCIAS

BAUER, M. **Vermessung und Ortung mit Satelliten: NAVSTAR-GPS und andere satellitengestützte Navigationssysteme**. 4.ed. Heidelberg: Wichmann, 1997.

FREIBERGER JUNIOR, J. **Análise da degradação do posicionamento em tempo real com o emprego do GNRT**. Curitiba, 2002. 136 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas). Departamento de Geociências, Universidade Federal do Paraná.

GEOPP (2002) **GEO++ GNRT**. Disponível em: <<http://www.geopp.de>> Acesso em: 30 de março de 2002.

GEOPP. **GPS Positionierung in Echtzeit**. Geo++ GmbH, *Garbsen*, 2001, p. 1-7. Disponível em <<http://www.geopp.de>>. Acesso em maio/2002.

KRUEGER, C. P. **Investigações sobre aplicações de alta precisão do GPS no âmbito marinho**. Curitiba, 1996. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas). Departamento de Geociências, Universidade Federal do Paraná.

LEICK, A. **GPS: Satellite surveying**, 2.ed. New York: J.Wiley, 1995.

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo NAVSTAR-GPS: descrição, fundamentos e aplicações.** São Paulo: UNESP, 2000.

RICHARDUS, P.; ADLER, R. K. **Map projections: for geodesists, cartographers and geographers.** Amsterdam: North-Holland Publishing Company, 1972.

WILLGALIS, S.; SEEBER, G.; KRUEGER, C. P.; ROMÃO, V. M. C. A real time reference network for Recife, Brazil, enabling precise and reliable cadastral surveys. In: FIG XXII INTERNATIONAL CONGRESS, 2002, Washington, D.C. USA. **Presented paper**, p. 1-14.

WÜBBENA, G.; BAGGE, A. Präzises DGPS in Echtzeit für Vermessung und GIS-Anwendungen. **Beitrag zum: DVW-Praxisseminar DGPS-Anwendungen**, 1995, Hamburg, Garbsen: Geo++, p. 1-16.

WÜBBENA, G.; BAGGE, A.; SEEBER, G.; BÖDER, V.; HANKEMEIER, P. Reducing distance dependent errors for real-time Precise DGPS applications by establishing reference station networks. In: ION GPS-96, Kansas City. **Presented paper.** Alexandria: Institute of Navigation, 1996, p. 1845-1852.

IMPORTÂNCIA DO RESGATE E ANÁLISE DA SÉRIE TEMPORAL DE OBSERVAÇÕES MAREGRÁFICAS NO PORTO DE IMBITUBA

Regiane Dalazoana¹
Roberto Teixeira Luz²
Sílvio Rogério Correia de Freitas³

- 1 Universidade Federal do Paraná – regiane@geoc.ufpr.br
- 2 Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – roberto@ibge.gov.br
- 3 Universidade Federal do Paraná – sfreitas@cce.ufpr.br

RESUMO

O monitoramento do nível do mar possui aplicações voltadas à prevenção de desastres ocasionados por fenômenos climáticos, construção de tábuas de marés voltadas para a navegação e no âmbito da Geodésia estabelecimento de um Datum para as redes verticais. Quanto aos registros maregráficos do Porto de Imbituba, existem armazenados no banco de dados do *Permanent Service for Mean Sea Level* (PSMSL), médias mensais e médias anuais que compreendem o período de 1949 a 1969. Existem registros gráficos desde 1999 que estão sendo digitalizados no IBGE (Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). Recentemente foram resgatados, pelo IBGE junto ao porto de Imbituba, dados referentes ao período de 1987 a 1992. Em 2001 o IBGE instalou no porto equipamentos maregráficos e meteorológicos digitais. No PSMSL não existem dados posteriores ao ano de 1969. Portanto, é de grande importância o resgate e conversão dos registros gráficos referentes aos períodos faltantes. A análise da série temporal dos registros maregráficos no Porto de Imbituba pode: auxiliar na verificação de tendências, como por exemplo, no monitoramento do nível médio do mar na região do Datum Vertical do Sistema Geodésico Brasileiro; fornecer subsídios para a determinação da Topografia do Nível Médio dos Mares, chave para definição de uma referência altimétrica global; e contribuir para o alcance dos objetivos do Grupo de Trabalho III do Projeto SIRGAS. O principal objetivo do trabalho é apresentar algumas das possíveis análises que podem ser feitas a partir da série temporal dos dados maregráficos de Imbituba, salientando-se a importância do resgate da série temporal de dados referentes aos períodos faltantes e realizar algumas discussões referentes a possibilidade de uso de dados provenientes da altimetria satelital.

Palavras-chave: Nível Médio do Mar; Datum Vertical; Dados Maregráficos

ABSTRACT

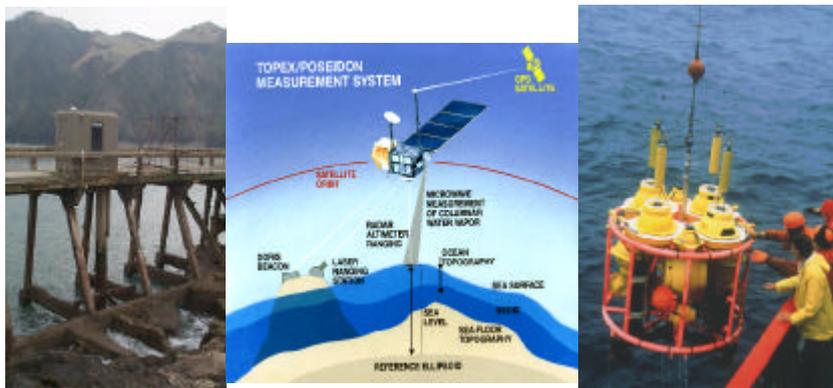
Sea level monitoring has applications turned to the prevention of disasters caused by climatic phenomena, the elaboration of tide-tables for navigation and in Geodesy scope the establishment of a Datum for vertical networks. Regard to the Imbituba harbour tide gauge records, there are monthly and annual means from the period of 1949 to 1969, stored in the Permanent Service for Mean Sea Level (PSMSL) database. There are graphic recorders since 1999 that are being digitalized by the IBGE (*Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística*). Recently IBGE has recovered, in the Imbituba harbour, data referring to the period from 1987 to 1992. In 2001 IBGE installed in the harbour, tide gauge and meteorological digital equipments. In PSMSL database does not exist data after 1969. Therefore, it is of high importance the recovering and conversion of the graphic records referring to the lost periods. The analysis of the time series of the Imbituba harbour tide gauge records can: help in the tendencies verification, such as, in the monitoring of the mean sea level in the area of the Brazilian Geodetic System Vertical Datum; to supply subsidies for the Sea Surface Topography determination, wich is a key issue for the definition of a global vertical reference; and to contribute for the reach of the aims of the Project SIRGAS Working Group III. The principal aim of this paper is to present some possible analyses that can be done from the time series of the Imbituba tide gauge data, pointing out the importance of the recover of the time series data referring to the lost periods and to carry out some discussions about the possibility of the use of the satellite altimetry data.

Keywords : Mean Sea Level; Vertical Datum; Tide Gauge Data

1. INTRODUÇÃO

Habitantes de regiões costeiras já estão familiarizados com a periodicidade no aumento e decréscimo do nível do mar devido ao fenômeno das marés. Porém, efeitos meteorológicos, como a variação da pressão atmosférica e a força dos ventos, podem ocasionar as chamadas ressacas que por sua vez podem causar inundações e danos significativos. Uma atitude importante na prevenção destes eventos é o monitoramento do nível do mar. Ao longo da costa este monitoramento é feito com o uso de marégrafos e no oceano pode ser feito com dados oriundos de radares altímetros instalados a bordo de satélites ou com sensores de pressão instalados no fundo do mar como ilustrado pela Figura 1.

FIGURA 1 – POSSIBILIDADES DE MONITORAMENTO DO NÍVEL DO MAR



FONTE: AARUP, 2003

O monitoramento do nível do mar, principalmente em áreas próximas da costa, é também de suma importância para a navegação, pois através da análise dos dados observados é possível gerar previsões de maré para o futuro. Mais especificamente no âmbito da Geodésia, do monitoramento do nível do mar, após um certo período de observações, é definido o Nível Médio do Mar (NMM) local para uma dada época. O seu vínculo com uma Referência de Nível (RN) situada próxima ao marégrafo define o Datum para o estabelecimento de uma rede vertical.

O NMM é definido em uma estação maregráfica e vale para aquele local e para uma dada época, pois varia de um ponto para outro e no mesmo ponto em função do tempo (GEMAEL, 1999). O uso do NMM como superfície de referência para as altitudes já foi amplamente aceito, porém atualmente é reconhecido que o NMM local observado nos marégrafos não pode ser considerado coincidente com o geóide global (PAN; SJÖBERG, 1998). Ou seja, cada datum vertical é referido a uma superfície equipotencial particular, associada ao NMM num ponto costeiro.

A conexão entre os sistemas de referência verticais e o estabelecimento de um datum vertical global apontam como uma das muitas tarefas da Geodésia e têm adquirido, ultimamente, caráter prioritário. O problema da unificação emergiu, principalmente, a partir da necessidade de realização de estudos de âmbito regional e global, como projetos transnacionais de engenharia, navegação marítima e aérea, estudos ambientais, monitoramento de áreas sujeitas à inundação, entre outros. Com relação ao Projeto SIRGAS (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas), o Grupo de Trabalho III possui como uma de suas tarefas a integração das redes geodésicas verticais dos países da América do Sul.

A conexão entre diferentes *data* verticais é inconsistente uma vez que o NMM não coincide com o geóide global. Essa discrepância é causada parte devido a fenômenos costeiros locais associados com correntes e ventos, e parte devido a

movimentos verticais das estações maregráficas causados por efeitos pós-glaciais e outras variações tectônicas. Outro efeito importante é a resposta da interface ar-oceano às variações na circulação oceânica e pressão atmosférica (TAPLEY; KIM, 2001). Esta discrepância é chamada de Topografia do Nível Médio do Mar (TNMM).

No Brasil, o Datum Vertical é definido pelas observações maregráficas tomadas no porto de Imbituba, no litoral do estado de Santa Catarina. Tendo em vista os aspectos apresentados anteriormente quanto à importância do monitoramento do nível do mar, ressalta-se que a análise da série temporal dos registros maregráficos no Porto de Imbituba pode:

- a) auxiliar na verificação de tendências, como por exemplo, no monitoramento do nível médio do mar na região do Datum Vertical do Sistema Geodésico Brasileiro;
- b) fornecer subsídios para a determinação da Topografia do Nível Médio dos Mares, chave para definição de uma referência altimétrica global; e
- c) contribuir para o alcance dos objetivos do Grupo de Trabalho III do Projeto SIRGAS.

Nesse sentido, o principal objetivo do trabalho é apresentar algumas das possíveis análises que podem ser feitas a partir da série temporal dos dados maregráficos de Imbituba, salientando-se a importância do resgate da série temporal de dados referentes aos períodos faltantes. E ainda realizar algumas discussões referentes a possibilidade de uso de dados provenientes da altimetria satelital.

A altimetria satelital aparece como uma técnica promissora, pois antes da era espacial, o acesso aos oceanos para estudos vinculados a Geodésia e Geodésia Marinha era feito através de medições esparsas, tomadas a partir de navios, bóias e marégrafos localizados irregularmente ao longo da costa. Com o advento de várias técnicas espaciais esta situação mudou rapidamente. A aplicação da altimetria satelital, suportada pela melhoria das técnicas utilizadas na determinação da órbita dos satélites e pela melhoria na precisão dos altímetros, impulsionou o estudo da Geodésia, que muitas vezes era limitado às regiões acessíveis geográfica e politicamente, proporcionando um enorme conjunto de dados relacionados à altitude da superfície do mar (TAPLEY; KIM, 2001).

2. DATUM VERTICAL DO SISTEMA GEODÉSICO BRASILEIRO

No Brasil, o Datum vertical do Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) é definido pelas observações maregráficas tomadas no Porto de Imbituba, no litoral do estado de Santa Catarina. Foi estabelecido em 1958 em substituição ao Datum provisório de Torres. O NMM local foi calculado com base em nove anos de observações, a partir das médias anuais das observações maregráficas entre os anos de 1949 e 1957. A ele foram referidas as altitudes das RRNN da estação maregráfica e todas as outras

RRNN da rede vertical do SGB (LUZ, 1996). Na época, o marégrafo foi instalado pelo *Inter-American Geodetic Survey* (IAGS) e pelas autoridades portuárias brasileiras. Até 1969 as observações maregráficas em Imbituba contavam com a supervisão e manutenção do IAGS. Em 1999 as autoridades portuárias em Imbituba retomaram a observação convencional do nível do mar, e em 2001 o IBGE instalou equipamentos maregráficos e meteorológicos digitais (LUZ et al., 2002).

Desde 1949 foram realizados diversos nivelamentos nas estações altimétricas que materializam o Datum de Imbituba, alguns resultados podem ser encontrados em LUZ et al. (2002). Além disso, a Universidade Federal do Paraná já realizou duas campanhas multi-paramétricas na área do Datum, em 1997 e 2000, monitorando sinais de GPS, pressão atmosférica, marés terrestres e oceânicas. Através destas campanhas foi possível fixar a posição geocêntrica do marégrafo. Segundo FREITAS et al. (2002b), as posições geocêntricas dos marégrafos servem como condição inicial para relacionar o NMM local a um geóide global. E ainda, o monitoramento contínuo desta posição pode discriminar entre movimentos crustais e alterações do NMM.

2.1 DISCREPÂNCIAS EXISTENTES NA CONEXÃO ENTRE MARÉGRAFOS E ENTRE REDES

No processo de estabelecimento do Datum vertical, foi considerada desprezível a diferença entre o NMM e o geóide (TNMM). Posteriormente, com o estabelecimento de conexões entre a rede altimétrica brasileira e outras estações maregráficas, existentes ao longo da costa, verificou-se a existência de diferenças significativas quando comparadas as altitudes da rede com aquelas oriundas dos diferentes NMM locais. As diferenças menos significativas eram justificadas como erros inerentes às operações de nivelamento, porém as mais significativas não eram explicadas (LUZ, 1996). No caso do Brasil, a Tabela 01 ilustra as diferenças entre o NMM medido por alguns marégrafos com relação ao marégrafo de Imbituba:

TABELA 01 – DIFERENÇAS DO NMM NO BRASIL COM RELAÇÃO AO MARÉGRAFO DE IMBITUBA

ESTAÇÃO MAREGRÁFICA	DISTÂNCIA NIVELADA A PARTIR DE IMBITUBA (km)	DISCREPÂNCIA DO NMM COM RELAÇÃO A IMBITUBA (m)
Torres	200	0,0584
Itajaí	160	0,1309
Vitória	1400	0,2840
Fortaleza	3650	0,2923
Belém	4850	0,8808
Paranaguá	300	0,0010

FONTE: adaptado de FREITAS et al., 2002a.

Já a Tabela 02 indica algumas discrepâncias existentes entre pontos de conexão das redes verticais de países da América do Sul, com relação ao marégrafo de Imbituba:

TABELA 02 – DIFERENÇAS EM PONTOS DE CONEXÃO DAS REDES VERTICAIS DE PAÍSES SUL-AMERICANOS COM RELAÇÃO AO MARÉGRAFO DE IMBITUBA

PAÍS	DISCREPÂNCIA (m)
Argentina	0,1937
Paraguai	-0,6547
Uruguai	0,5584

FONTE: FREITAS et al., 2002a.

A conexão entre a rede vertical do Equador e da Colômbia indicou uma discrepância de 0,075 m, entre a rede venezuelana e a colombiana existe uma discrepância da ordem de $\pm 0,32$ m (SÁNCHEZ; MARTÍNEZ, 2002). Outros estudos indicam uma discrepância de aproximadamente 3,45 m entre a rede da Venezuela e a do Brasil (HERNÁNDEZ et al., 2002).

3. DADOS MAREGRÁFICOS NO PORTO DE IMBITUBA

Existem armazenados no banco de dados do *Permanent Service for Mean Sea Level* (PSMSL), médias mensais (Gráfico 1) e médias anuais (Gráfico 2) que compreendem o período de 1949 a 1969. O PSMSL não tem dados do período após a operação das estações ter sido passada do IAGS para as autoridades portuárias brasileiras. No entanto, as observações existem, sendo necessário iniciar-se um processo de recuperação e conversão dos registros gráficos (LUZ et al., 2002).

GRÁFICO 1 – MÉDIA MENSAL EM IMBITUBA – PERÍODO DE 1948 A 1968

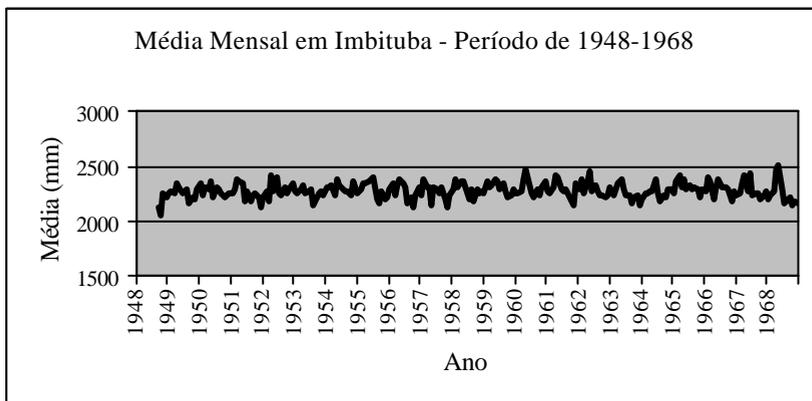
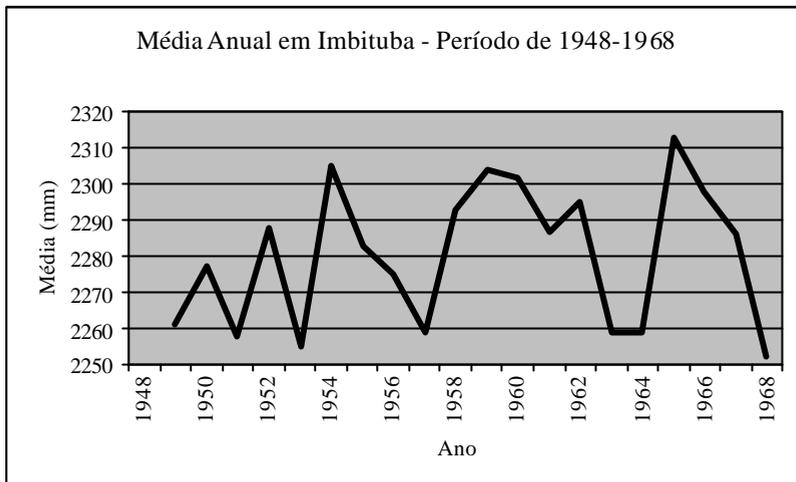


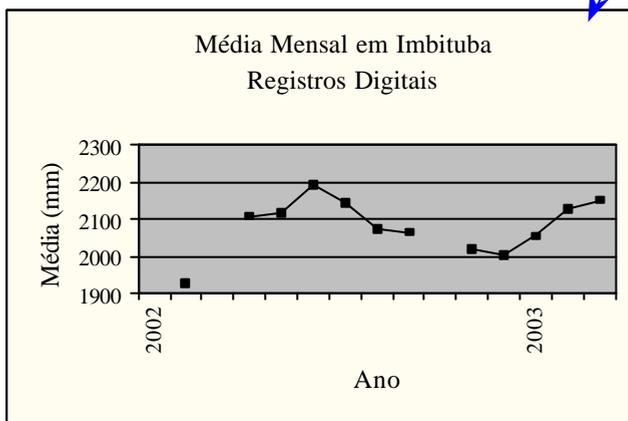
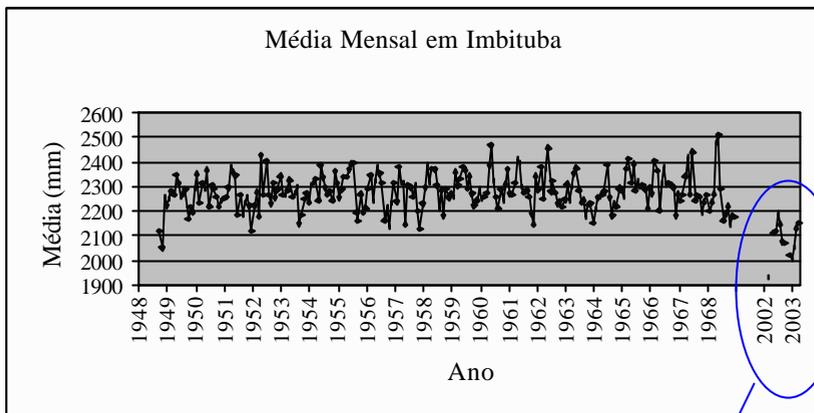
GRÁFICO 2 – MÉDIA ANUAL EM IMBITUBA – PERÍODO DE 1948 A 1968



Existem registros gráficos desde 1999 que estão sendo digitalizados no IBGE. Recentemente foram resgatados, pelo IBGE junto ao porto de Imbituba, dados referentes ao período de 1987 a 1992. A partir de 2001 o IBGE instalou no porto, equipamentos maregráficos e meteorológicos digitais que coletam dados a cada cinco minutos. O tratamento preliminar das observações desses equipamentos revela uma certa diferença, que pode ser observada no Gráfico 3, entre as médias mensais obtidas a partir das observações feitas pelos sensores digitais (anos de 2002 e 2003) e aquelas armazenadas no banco de dados do PSMSL (anos de 1948 a 1968). Estas diferenças podem significar não somente variação do nível médio, mas também outras causas, como alterações do nível de referência dos sensores (LUZ; GUIMARÃES, 2003). Somente a recuperação da série histórica poderá esclarecer tais questões.

No banco de dados do PSMSL não existem os dados brutos que geraram as médias mostradas nos Gráficos 1 e 2. De acordo com informações obtidas via e-mail em 28 de agosto de 2002, existem no Banco Nacional de Dados Oceanográficos (BNDO) dados brutos da estação 60250 Porto de Imbituba para o período de 01/01/1957 a 31/12/1957. Também é interessante a busca e conversão dos registros maregráficos brutos que geraram as médias para o período de 1949 a 1969.

GRÁFICO 3 – MÉDIA MENSAL EM IMBITUBA



FONTE: adaptado de LUZ; GUIMARÃES, 2003.

4. INDICATIVOS DE POSSÍVEIS ANÁLISES

A análise detalhada dos registros maregráficos permite verificar a existência de uma série de sinais oceânicos contidos nestes registros, como exemplo pode-se citar: o principal sinal é aquele devido à maré; efeito do barômetro inverso; efeitos dinâmicos de correntes geostróficas; temperatura, salinidade e ventos; variabilidade sazonal relacionada com efeitos termais; efeitos devido ao fenômeno El Niño; alterações no nível do mar e subsidência ou soerguimento crustal (CHELTON; ENFIELD, 1986) (desde que o NMM no local esteja vinculado a uma RN e que seja conhecida a posição geocêntrica do marégrafo). Estes sinais não são iguais e não

possuem o mesmo efeito para qualquer parte da Terra, pois dependem, por exemplo, da configuração do fundo oceânico e da linha de costa e da localização geográfica da estação.

Todos os itens relacionados no parágrafo anterior fazem com que a utilização do NMM como referência de nível não seja permanente por si só. O NMM deve estar relacionado às marcas de referência colocadas nas vizinhanças do marégrafo e são essas marcas que constituem indicação permanente (DOODSON; WARBURG, 1954). Os valores diários do NMM não são constantes, mostrando grandes e irregulares variações devido principalmente às condições meteorológicas.

Através da análise dos dados maregráficos no porto de Imbituba é possível indicar a evolução temporal do NMM na região do Datum vertical brasileiro. A análise da evolução temporal do NMM associada com determinações periódicas da posição geocêntrica do marégrafo podem auxiliar na discriminação entre movimentos verticais da crosta e alterações no NMM.

Atualmente, com a evolução dos estudos referentes a Dinâmica dos Oceanos e com a Geodinâmica, a hipótese de se desprezar a TNMM foi revista (LUZ, 1996), pois já não atende mais aos requisitos de precisão exigidos pela Geodésia. Logo esse efeito deve ser considerado, sendo de extrema importância no contexto da conexão de redes verticais e adoção de um Datum altimétrico unificado. Existem diferentes estratégias para determinar a TNMM e vários estudos vêm sendo desenvolvidos neste sentido. Várias instituições em todo o mundo vêm se preocupando em realizar estudos com o objetivo de avaliar os métodos de integração de redes verticais além de estudar os efeitos que afetam a determinação da TNMM.

A estimativa da TNMM pode auxiliar na compreensão das diferenças de altitude encontradas em pontos de conexão das redes verticais entre os países da América do Sul e diferenças encontradas na conexão de diferentes marégrafos. Nesse sentido, o uso combinado de dados maregráficos, dados provenientes da altimetria satelital, modelo global do geopotencial, entre outros, pode fornecer subsídios para a determinação da TNMM na região do Datum. Contribuindo, desta forma, para o alcance dos objetivos do Grupo de Trabalho III do Projeto SIRGAS.

5. POTENCIALIDADES DO USO DA ALTIMETRIA POR SATÉLITES

Um outro aspecto importante no contexto do trabalho é a aplicação da altimetria satelital, que suportada pela melhoria das técnicas utilizadas na determinação da órbita dos satélites e pela melhoria na precisão dos altímetros, impulsionou o estudo da Geodésia, proporcionando um enorme conjunto de dados relacionados à altitude da superfície do mar. Por exemplo, de acordo com CHELTON et al. (2001), a precisão da medida do altímetro do satélite TOPEX/POSEIDON é de cerca de dois centímetros e sua órbita é determinada com uma precisão de cerca de três centímetros.

A altimetria satelital proporciona a determinação da superfície do mar numa escala global e com amostragem freqüente. A amostragem conseguida com os satélites altímetros proporciona uma cobertura sem precedentes, principalmente em águas profundas onde os marégrafos não podem ser instalados e em regiões oceânicas onde não é viável a presença de embarcações, gerando dados para uma grande variedade de aplicações geodésicas, geofísicas e oceanográficas (ZLOTNICKI, 1989). Na oceanografia, por exemplo, a possibilidade de obtenção de dados quase que continuamente traz uma série de vantagens em relação aos métodos clássicos, onde um navio levava semanas ou, até mesmo, meses na execução de um levantamento e durante esse período o oceano estava constantemente alterando sua circulação, temperatura e salinidade. Com o uso da altimetria satelital é possível mapear a topografia do mar em escala global, proporcionando aos oceanógrafos o estudo a respeito da circulação oceânica e sua variação no tempo. Na Geofísica, os dados provenientes da altimetria satelital podem possibilitar análises sobre a estrutura do fundo oceânico e na Geodésia podem permitir a estimativa da TNMM, parâmetro importante para a conexão de redes verticais e estabelecimento de um datum vertical unificado. A diferença entre o NMM e o geóide é causada por diferença de salinidade na água do oceano, diferenças de pressão atmosférica, correntes, entre outros (SEEBER, 1993). A TNMM pode alcançar valores de até dois metros (SEEBER, 1993), logo o uso da aproximação do geóide pelo NMM não é válido se uma resolução melhor do que dois metros for necessária. A estimativa desta discrepância é de fundamental importância para a realização da conexão entre diferentes redes verticais e diferentes marégrafos (FREITAS et al., 2002a).

A altimetria proporciona ainda, o estabelecimento de propriedades do geóide, características de ondas e da maré, e através da análise do sinal de retorno é possível estabelecer a altura das ondas no oceano. A maior significância do uso da altimetria por satélites resulta da possibilidade do recobrimento de grandes áreas oceânicas num período curto de tempo, possibilitando uma representação detalhada da superfície do mar com alta resolução espacial e temporal (SEEBER, 1993).

Comparações entre altitudes da superfície do mar obtidas pelas missões de altimetria com níveis registrados em marégrafos foram comumente utilizados para: calibração, monitoramento e verificação dos dados provenientes da altimetria satelital. Um exemplo pode ser encontrado em FU et al. (1994), que apresenta a metodologia de verificação e calibração das medidas do TOPEX/POSEIDON durante os primeiros seis meses da missão.

Vários estudos, realizados por diferentes instituições, indicam que tanto a análise das séries temporais adquiridas com os marégrafos, como as obtidas através da altimetria satelital, indicam que o NMM não é estático, havendo então a necessidade de monitoramento contínuo. A detecção de mudanças no nível do mar é uma importante questão quando se trata de estudos relacionados com a mudança climática. Segundo CAZENAVE et al. (1998), dados históricos de marégrafos

indicam uma elevação de 1 a 2,5 mm/ano. Apesar da altimetria por satélites possuir um banco de dados de menor período histórico comparado com os dados existentes de marégrafos, ela aparece como uma técnica promissora para detecção de variações do nível do mar. Podendo ainda fornecer informações importantes para modelos climáticos globais, além de estimar variações volumétricas e de massa oceânica (CAZENAVE et al., 1998).

O uso combinado de dados provenientes da altimetria satelital com determinações gravimétricas realizadas com gravímetros a bordo de navios e a bordo de aeronaves, proporciona uma melhor determinação do campo da gravidade nos oceanos, como indicado por exemplo por ANDERSEN; KNUDSEN (2000) e por TAPLEY; KIM (2001). E ainda, o uso conjunto dos dados provenientes da altimetria satelital com um modelo global do geopotencial fornece subsídios para a determinação da TNMM. Um dos problemas relacionados com o uso da altimetria por satélites é a falta de resolução da técnica nas regiões costeiras, devido à reflexão anômala dos sinais do radar altímetro, causada pela interferência das feições existentes na costa, ou seja, da parte terrestre no sinal de retorno do radar. Atualmente espera-se uma melhoria na determinação e no monitoramento do campo da gravidade a partir de dados de várias missões dedicadas à sua determinação, como por exemplo as missões CHAMP, GRACE e GOCE.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para a realização de estudos voltados a evolução temporal do datum vertical brasileiro é importante a recuperação de informações quanto a possíveis períodos de inatividade do marégrafo e recuperação das séries temporais de dados maregráficos referentes aos períodos de 1969 até 1987 e de 1992 até 1999, além da recuperação dos dados brutos que geraram as médias mensais e anuais referentes ao período de 1949 até 1969. As séries temporais devem ser conectadas, tendo em vista troca de equipamentos e possíveis diferenças quanto ao nível de referência dos dados maregráficos.

É importante ressaltar a importância do estabelecimento de novas campanhas multi-paramétricas na região do Datum para acompanhamento da posição geocêntrica do marégrafo e verificação de efeitos locais.

Novas missões de altimetria por radar e as missões dedicadas especialmente ao campo da gravidade terrestre, prometem grandes avanços científicos para os próximos anos, proporcionando um melhor entendimento a respeito dos oceanos, os quais até a pouco tempo representavam um obstáculo para a Geodésia. A tarefa básica da Geodésia é estimar tamanho, forma e campo da gravidade da Terra bem como suas variações temporais, desta forma o conhecimento mais detalhado acerca dos oceanos, que cobrem cerca de 70% do globo, já representa parte significativa de todo o problema. Como indicado no item 5, a altimetria por radar possui diversas

aplicações em diferentes áreas do conhecimento, demonstrando sua importância no contexto científico atual.

Como as séries temporais de dados provenientes da Altimetria por Satélites são relativamente curtas, existe a possibilidade de correlacionar e integrar estes dados com dados provenientes de marégrafos. Esta integração de dados pode auxiliar em casos de perda de dados ou problemas instrumentais.

7. REFERÊNCIAS

AARUP, T. **GLOSS – The Global Sea Level Observing System**. Disponível em: <<http://www.pol.ac.uk/psmsl/powerpoint>>. Acesso em 6 jan. 2003.

ANDERSEN, O. B.; KNUDSEN, P. The Role of Satellite Altimetry in Gravity Field Modelling in Coastal Areas. **Physics and Chemistry of the Earth**, Elsevier Science Ltda, v. 25, n. 1, p. 17-24, 2000. Disponível em: <sciencedirect.com>.

CAZENAVE, A.; DOMINH, K.; GENNERO, M. C.; FERRET, B. Global Mean Sea Level Changes Observed by TOPEX/POSEIDON and ERS-1. **Physics and Chemistry of the Earth**, Elsevier Science Ltda, v. 23, n. 9-10, p. 1069-1075, 1998. Disponível em: <sciencedirect.com>.

CHELTON, D. B.; ENFIELD, D. B. Ocean Signals in Tide Gauge Records. **Journal of Geophysical Research**, v. 91, n. B9, p. 9081-9098, august 10, 1986.

CHELTON, D. B.; RIES, J. C.; HAINES, B. J.; FU, L. L.; CALLAHAN, P. S. Satellite Altimetry. In: FU, L. L.; CAZENAVE, A. (Ed.). **Satellite Altimetry and Earth Sciences: a Handbook of Techniques and Applications**. Academic Press, 2001. 463 p. p. 1-131.

DOODSON, A. T.; WARBURG, H. D. **Manual de Marés do Almirantado**. Tradução de: Alberto dos Santos Franco. Rio de Janeiro: DHN, 1954. 372 p.

FREITAS, S. R. C. de; MEDINA, A. S.; LIMA, S. R. S. de. Associated Problems to Link South American Vertical Networks and Possible Approaches to Face Them. In: DREWES, H.; DODSON, A. H.; FORTES, L. P. S.; SÁNCHEZ, L.; SANDOVAL, P. (Ed.). **Vertical Reference Systems**. IAG Symposium, Cartagena, Colômbia. Berlim: Springer-Verlag, 2002a. 353 p. p. 318-323.

FREITAS, S. R. C. de; SCHWAB, S. H. S.; MARONE, E.; PIRES A. O.; DALAZOANA, R. Local Effects in the Brazilian Vertical Datum. In: ÁDÁM, J.;

SCHWARZ, K. P. (Ed.). **Vistas for Geodesy in the New Millennium** IAG Symposium. Berlin: Springer-Verlag, 2002b. p. 102-107.

FU, L. L.; CHRISTENSEN, E. J.; YAMARONE, C. A. TOPEX/POSEIDON Mission Overview. **Journal of Geophysical Research**, v. 99, n. C12, p. 24369-24381, december 15, 1994.

GEMAEL, C. **Introdução à Geodésia Física**. Curitiba: Editora da UFPR, 1999. 304 p.

HERNÁNDEZ, J. N.; BLITZKOW, D.; LUZ, R. T.; SÁNCHEZ, L.; SANDOVAL, P.; DREWES, H. Connection of the Vertical Control Networks of Venezuela, Brazil and Colômbia. In: DREWES, H.; DODSON, A. H.; FORTES, L. P. S.; SÁNCHEZ, L.; SANDOVAL, P. (Ed.). **Vertical Reference Systems**. IAG Symposium, Cartagena, Colômbia. Berlin: Springer-Verlag, 2002a. 353 p. p. 324-327.

LUZ, R. T. **A Influência das Ondas de Alta e Média Freqüência na Observação do Nível do Mar para Aplicações Geodésicas**. Rio de Janeiro, 1996. 168 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Oceânicas). Universidade Federal do Rio de Janeiro.

LUZ, R. T.; FREITAS, S. R. C. de; DALAZOANA, R. Seguimiento del Datum Altimétrico Imbituba a través de las Redes Altimétricas y Mareográficas del Sistema Geodésico Brasileiro. In: VII CONGRESSO INTERNACIONAL DE CIÊNCIAS DA TERRA, 2002, Santiago, Chile. **Anais**. Santiago: 21 a 25 de outubro de 2002.

LUZ, R. T.; GUIMARÃES, V. M. **Dez Anos de Monitoramento do Nível do Mar no IBGE**. In: III COLÓQUIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS, 2003, Curitiba.

PAN, M.; SJÖBERG, L. E. Unification of Vertical Datums by GPS and Gravimetric Geoid Models with Application to Fennoscandia. **Journal of Geodesy**, Springer-Verlag, v. 72, n. 2, p. 64-70, 1998.

SÁNCHEZ, L.; MARTÍNEZ, W. Approach to the New Vertical Reference System for Colombia. In: DREWES, H.; DODSON, A. H.; FORTES, L. P. S.; SÁNCHEZ, L.; SANDOVAL, P. (Ed.). **Vertical Reference Systems**. IAG Symposium, Cartagena, Colômbia. Berlin: Springer-Verlag, 2002a. 353 p. p. 27-33.

SEEBER, G. **Satellite Geodesy. Foundations, Methods and Applications**. Berlin, New York: Walter de Gruyter, 1993. 531 p.

TAPLEY, B. D.; KIM, M. C. Applications to Geodesy. In: FU, L. L.; CAZENAVE, A. (Ed.). **Satellite Altimetry and Earth Sciences**: a Handbook of Techniques and Applications. Academic Press, 2001. 463 p. p. 371-406.

ZLOTNICKI, V. The Mean Sea Level of the Gulf Stream Estimated from Satellite Altimetric and Infrared Data. In: SUNKEL, H; BAKER, T. (Ed.). **Sea Surface and the Geoid**. Edinburg: Springer Verlag, 1989. p. 108-115.

MODELAGEM TRIDIMENSIONAL DE SUPERFÍCIES ABORDAGEM SOBRE INTERPOLADORES NA GERAÇÃO DE MODELOS BATIMÉTRICOS

Elaine Cristine Barros de Souza¹
Andrea Tedesco²
Claudia Pereira Krueger³

- 1 Universidade Federal do Paraná – ecsouza@geoc.ufpr.br
- 2 Universidade Federal do Paraná – tedescodeda@pop.com.br
- 3 Universidade Federal do Paraná – ckrueger@cce.ufpr.br

RESUMO

Atualmente, como é comum em todos os serviços hidrográficos que já concluíram um plano cartográfico, a Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN), órgão pertencente a Marinha do Brasil, dedica-se a programas de levantamentos voltados para áreas e não para a construção de cartas, considerando a importância econômica da área, tipo e densidade de tráfego marítimo, a existência de anomalias batimétricas, a mobilidade do fundo devido à erosão e ao assoreamento e a densidade e precisão de levantamentos anteriores. Devido a própria dinâmica do fundo oceânico e dos sistemas hídricos, muitas vezes ocorrem processos de deposição e erosão nos canais, rios e áreas costeiras. Estes processos causam a formação de bancos de areia e lodo. Por isso, é de importância avaliar o crescimento destas áreas para se proporem medidas mitigatórias, pois torna-se viável o preenchimento das lacunas nas áreas não cartografadas. A carta náutica, produto resultante do levantamento hidrográfico, registra as profundidades na área representada e apresenta diversas linhas isobáticas, que interligam os pontos com a mesma profundidade e permitem visualizar a topografia submarina, normalmente se dispõe dos ecobatímetros para medir essas profundidades. Tendo em vista estes aspectos, o presente trabalho visa à geração de modelos batimétricos por meio de diferentes interpoladores, com o objetivo de determinar a melhor representação da área em estudo, possibilitando a detecção de bancos de areia. A área compreende o canal localizado entre as ilhas Sepultura e Capinzal na baía de Guaratuba, litoral do estado do Paraná. Será apresentada a metodologia e a verificação da qualidade dos modelos digitais gerados através da comparação das profundidades dos pontos interpolados por meio de diferentes interpoladores com os pontos medidos em campo. Uma análise qualitativa será realizada mediante as curvas isobatimétricas e quantitativa, por meio dos resíduos.

Palavras-chave: Batimetria; GPS; Ambiente Marinho

ABSTRACT

Nowadays, like is common in all hydrographic services that concluded their cartographic plane, the Hydrography and Navigation Direction of Brazil Navy, is dedicating her mapping programs to areas and not to make charts, considering the economic importance of the area, kind and density of maritime traffic, bathymetric anomalies existence, bottom movability due to erosion and sedimentation and the density and precision of the previous surveys. Due to ocean bottom and hydric systems dynamic, many times occurs erosion and sedimentation processes in streams, rivers and seashore areas. These processes cause sand and mud benches formation. Because this, is very important evaluate the enlargement of these areas to propose mitigative solutions. The navigation chart, a resultant product of hydrographic survey, presents the depths in the mapped area through divers isobathymetric lines that connect the points with same depth and allows visualize the submarine topography. Normally these depths are obtained using echosounders. This essay aims to produce bathimetric models through different interpolators to determine the better representation of the study area, allowing the sand benches detection. The study area is located between Sepultura and Capinzal islands, in the Guaratuba Bay, Paraná coast. It will be presented the methodology and the quality verification of the digital terrain models produced through depth comparisons in the interpolated points by different interpolators and in the points measured in the survey, a qualitative analysis using the isobathymetric curves and quantitative through the residuals.

Keywords : Bathimetry, DGPS, Marine Environmental

1. INTRODUÇÃO

1.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS

Cartografar áreas submersas sempre foi um grande desafio e uma necessidade para o homem, especialmente no que diz respeito à segurança da navegação. Trata-se de tarefa difícil, dispendiosa e cara, ainda nos dias atuais. Existem muitas regiões não cartografadas, inclusive nas cartas náuticas produzidas pelos órgãos responsáveis, devido às dificuldades de levantamento nestas áreas. Entre as dificuldades podem-se citar áreas com presença de bancos de areia, formações rochosas submersas e áreas de baixa profundidade (alto fundo). O órgão que

estabelece as normas para a realização dos levantamentos hidrográficos é a Organização Hidrográfica Internacional (OHI). Elas devem ser seguidas pelos estados-membros, sendo o Brasil um deles, que é representado pela DHN.

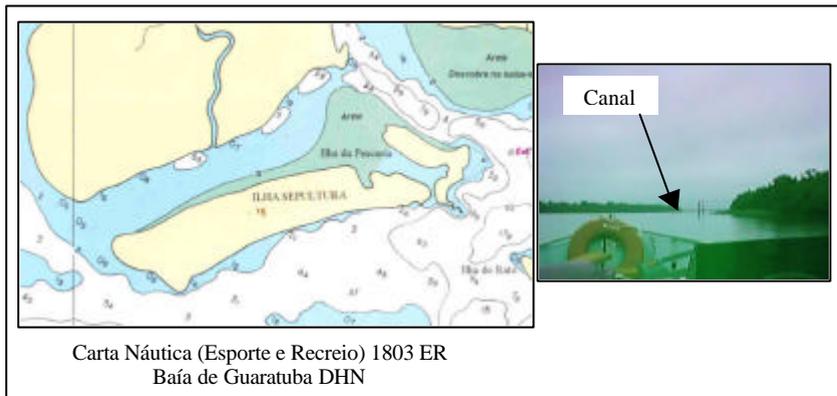
Os dados marinhos coletados em conformidade com especificações hidrográficas precisas e, ainda, que a incerteza espacial destes dados seja adequadamente quantificada são ótimos aliados para a segurança dos usuários que utilizam a navegação mercante, militar ou de esporte e recreio, além de auxiliarem no gerenciamento de zonas costeiras, monitoramento do meio ambiente, aproveitamento de recursos minerais, para o trato de questões legais e jurisdicionais, modelagem oceânica e meteorológica, projetos de construção, engenharia e muitas outras atividades (DHN, 1998).

As informações marinhas diferem das terrestres em diversos aspectos, tais como: a distribuição das amostras, diferentes precisões e resoluções, densificação delas em diferentes partes do oceano, entre outros. Este fato ocorre, devido à própria dinâmica do fundo oceânico e dos sistemas hídricos na maioria das vezes, tornando as cartas batimétricas desatualizadas em pouco tempo. Muitas vezes ocorrem processos de deposição e erosão nos canais, rios e áreas costeiras. Estes processos causam a formação de bancos de areia e lodo, os quais provocam uma mudança na topografia do fundo oceânico. Essas mudanças podem ser observadas muitas vezes através de levantamentos batimétricos. A tendência do deslocamento de sedimentos que ocorrem numa região ou a identificação de áreas ou canais assoreados podem ser detectados por meio dos modelos batimétricos tridimensionais. Por isso, é de suma importância avaliar o crescimento destas áreas de sedimentação e erosão para se proporem medidas mitigatórias, mesmo não sendo a determinação das profundidades de alta precisão, pois se torna viável o preenchimento das lacunas nessas áreas não cartografadas. Cabe ressaltar que a precisão da modelagem tridimensional de uma superfície a ser mapeada, está intimamente ligada à precisão adquirida pelos dados coletados em campo.

Muitos são os programas disponíveis no mercado para a geração desses modelos, cada um com suas particularidades, uma das fases desse trabalho é mostrar ao usuário interessado em utilizar programa Surfer (seção 4.1.2.2), algumas das suas potencialidades como uma ferramenta na geração e análise de alguns produtos cartográficos, bem como sugestões quanto aos cuidados a serem levados em consideração na geração dos MDT com relação à escolha dos interpoladores. O intuito não é entrar em detalhes quanto as especificidades e formulações matemáticas de cada interpolador disponível, mas de forma breve mostrar a existência deles e alguns cuidados a serem considerados na geração de produtos cartográficos com precisão e qualidade. Será apresentada a metodologia aplicada para a execução do levantamento de campo bem como algumas das potencialidades dos programas Hypack (hidrográfico - utilizado na batimetria) e Surfer (utilizado na geração dos modelos). Como resultados finais poder-se-á verificar a qualidade dos

modelos batimétricos através da comparação das profundidades dos pontos interpolados por meio de diferentes interpoladores, análise qualitativa mediante as curvas isobatimétricas e quantitativa, por meio dos resíduos. O canal levantado localiza-se entre as ilhas Sepultura e Capinzal, localizado na baía de Guaratuba, litoral do estado do Paraná, conforme Figura 1.

FIGURA 1 – LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO



Espera-se que com os resultados apresentados, outros levantamentos possam ser realizados nessa área possibilitando a geração de novos modelos tridimensionais visando à superposição dos mesmos e uma análise temporal das variações volumétricas da área, bem como a detecção dos processos de erosão e progradação no canal. Outra análise sugerida é a verificação da viabilidade do uso integrado de dados provenientes de ecobatímetros e de imagens de satélite para mapeamento de profundidade de corpos d'água, fornecendo subsídios na atualização de mapas batimétricos.

2 OBJETIVOS

O presente trabalho visa à geração e análise de modelos batimétricos, para a detecção de áreas com bancos de areia, os quais possibilitarão mediante novos levantamentos, uma futura análise temporal dos processos de erosão e sedimentação na região.

2.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) utilizando dados batimétricos (profundidades) coletados à partir de um ecobatímetro de feixe único e as posições horizontais determinadas a partir do sistema de posicionamento diferencial (DGPS), gerar um modelo batimétrico da região;
- b) analisar quantitativamente através dos resíduos e qualitativamente por meio de curvas isobatimétricas a grade gerada a partir de diferentes interpoladores;
- c) apresentar os resultados alcançados e a melhor representação obtida para a área.

3 MATERIAL E MÉTODO

Nesta seção serão listados os equipamentos e materiais empregados nos levantamentos de campo, bem como será apresentada a descrição destes levantamentos, os programas computacionais utilizados na geração dos produtos e os resultados alcançados com suas análises.

3.1 MATERIAIS UTILIZADOS NA PESQUISA

3.1.1 Equipamentos Utilizados

Nos levantamentos de campo foram utilizados os seguintes equipamentos:

- a) receptores geodésicos da marca *Ashtech Z-XII*, que apresentam as seguintes características principais: operam em 12 canais, possuem portadoras L_1 e L_2 com comprimento de onda completo, aplicam a técnica *P-W Tracking* e apresentam o módulo diferencial, foram também utilizadas antenas de dupla frequência;
- b) 1 sistema de comunicação, caracterizado por um par de rádios da marca *Pacific Crest*, operando com uma potência de 35W e 2W, na faixa UHF em FM, com antenas omnidirecionais;
- c) 2 microcomputadores (1 para a estação de referência e outro para a estação móvel/ 486, marca *Toshiba*, modelo *Satellite T2110CS*);
- d) baterias de 12 *Volts*;
- e) 1 ecobatímetro de feixe único, modelo *SDH-13-A* instalado com o *Digitrace*;
- f) uma embarcação de apoio;
- g) um veículo de apoio.

3.1.2 Programas Computacionais Utilizados

4.1.2.1 HYPACK

É um programa comercial, desenvolvido pela *Coastal Oceanographics, Inc.*, em ambiente *Windows*. Tem como objetivo principal auxiliar nos levantamentos hidrográficos; permite a entrada simultânea de dados coletados por diferentes sensores (p.ex.: ecobatímetro, GPS, medidor de vazão e correntes). Ele é composto de módulos, dentre esses se pode citar: planejamento, levantamento, edição, volumes, modelos digitais e o *Computer Aided Design* (CAD). O planejamento permite ao usuário rever graficamente os dados coletados ou criar novas linhas, as quais podem ser paralelas, radiais, ou perpendiculares aos *offsets*. Com o módulo levantamento pode-se ter a entrada de nove sensores para coleta dos dados simultaneamente. Ainda existe a possibilidade de acompanhar, em tempo real, a posição do barco na área em questão, os perfis, as informações levantadas, o ecograma e outros; o módulo “edição” proporciona uma interface gráfica que pode editar as linhas levantadas, os perfis de sondagem e, simultaneamente, os dados em texto. É possível ainda aplicar correções quanto às marés, às correntes, à arfagem, à guinada, ao rolamento e à velocidade do som; permite o cálculo de volumes e a geração das grades por diversos métodos computacionais, sendo um deles os modelos TIN para dados hidrográficos e topográficos. Também se pode calcular os volumes em canais, em contínua mudança de dimensões. Todos esses volumes podem ser plotados, impressos ou tabulados; o programa permite efetuar a transferência de dados hidrográficos para sistemas AutoCad e Intergraph. Permitem total exportação de linhas levantadas, sondagens, linhas e áreas digitalizadas, seções de perfis transversais e modelos TIN. Este programa foi empregado, neste trabalho, no processamento dos dados hidrográficos.

4.1.2.2 SURFER

Para o processo de geração das grades, ele tem disponível os interpoladores: inverso da distância, kriging, vizinho mais próximo, método de *Shepard*, regressão polinomial, função de base radial, triangulação com interpolação linear. Este programa permite a geração e a visualização de produtos cartográficos como: imagens sombreadas ou em níveis de cinza, gerar mapas de declividade e aspecto, mapas de contorno, mapas em perspectiva tridimensionais, entre outros. Ele ainda fornece algumas informações num chamado *reporter* de saída dentre elas: os parâmetros ou valores que definem as superfícies mais altas e as mais baixas, o tamanho do *grid*, espaçamento (resolução), os volumes computados pelos métodos

de integração numérica. O Surfer foi empregado para a geração e a análise dos modelos batimétricos neste trabalho.

Mais detalhes sobre os equipamentos e os programas ver: ASHTECH Z-XII (1995); SURFER (1999); HYPACK (1995).

4.2 LEVANTAMENTO BATIMÉTRICO, RESULTADOS E ANÁLISES

Com intuito de caracterizar o relevo do canal existente entre as ilhas de Sepultura e Capinzal, foi realizado um levantamento batimétrico nesta área, os dados de posição e profundidades foram coletados bem como gerado o modelo batimétrico tridimensional.

4.2.1 Estação de Referência

A estação de referência foi instalada no *Pier* do Iate Clube de Caiobá, nas proximidades do canal levantado (Figura 2). Nessa estação instalou-se um receptor *Ashtech Z-XII* (módulo diferencial), o rádio transmissor *Pacif Crest*, operando com uma potência de 35W, na faixa UHF em FM e seus acessórios.

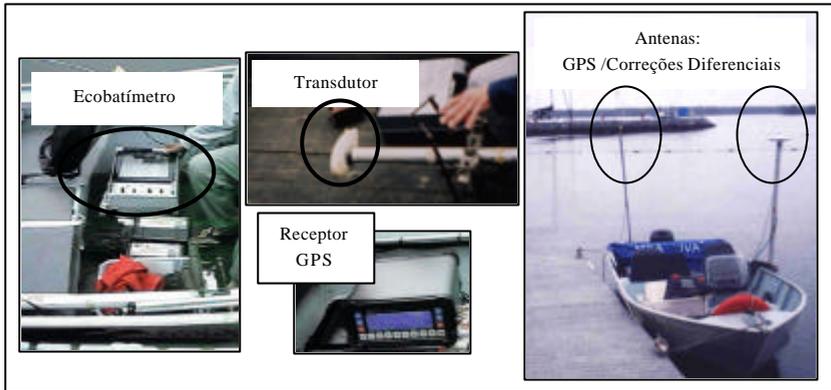
FIGURA 2 – ESQUEMA DA ESTAÇÃO DE REFERÊNCIA INSTALADA NO *PIER*



4.2.2 Estação Móvel

Na estação móvel/embarcação, foram instalados um receptor *Ashtech Z-XII* conectado a uma antena cinemática, um ecobatímetro, o enlace de comunicação (rádio da marca *Pacific Crest*, operando com uma potência de 2W, na faixa UHF em FM) e um *laptop*. Observa-se a antena cinemática GPS e o transdutor devidamente instalados na embarcação (Figura 3).

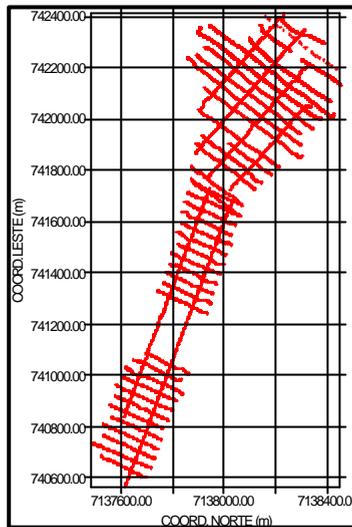
FIGURA 3 – ESQUEMA DA ESTAÇÃO MÓVEL (EMBARCAÇÃO)



4.2.3 Metodologia

A operação de campo relativa a batimetria foi executada no período de 11 a 13 de junho de 2002. Para o posicionamento bidimensional da embarcação (coordenadas E, N) foi utilizado o DGPS e para o levantamento das profundidades utilizou-se um ecobatímetro (coordenada Z). Com a utilização do programa Hypack, foi possível realizar o planejamento das linhas de sondagens. Optou-se pela confecção de uma malha regular para a sondagem, contendo linhas paralelas espaçadas de 40m, no sentido perpendicular ao canal existente entre as ilhas de Sepultura e Capinzal. Dois perfis longitudinais de verificação foram também planejados (margem esquerda e centro do canal). As sondagens foram realizadas a cada 25m, correspondendo a um espaçamento de 5mm na escala do levantamento (Figura 4). A escala adotada para representação gráfica da batimetria foi igual a 1:5000, cujos espaçamentos estão de acordo com as especificações para levantamentos hidrográficos.

FIGURA 4 - LINHAS DE SONDAGEM PERCORRIDAS



O transdutor do ecobatímetro foi instalado na lateral da embarcação, através de uma barra metálica onde na extremidade superior da mesma estava acoplada a antena cinemática GPS. Com a centragem da antena GPS em relação ao transdutor do ecobatímetro reduz-se os erros no posicionamento devido à inclinação da embarcação.

Antes do início dos levantamentos foi efetuada a calibragem do ecobatímetro, ou seja, foi ajustada a velocidade de propagação do som no meio. Esta operação ocorreu mediante a introdução na água de uma superfície refletora, amarrada a uma corda graduada de meio em meio metro. Assim sendo, foi possível comparar as profundidades lidas na corda com as profundidades indicadas pelo ecobatímetro. A velocidade da embarcação também é um fator importante, pois minimiza os efeitos *Squat* dinâmico durante os levantamentos dos perfis (KRUEGER, 1996).

Após o planejamento procedeu-se a coleta dos dados. Ocupou-se um ponto com coordenadas conhecidas (Ponto *Pier* no Iate Clube de Caiobá), no qual o receptor geodésico *Ashtech Z-XII*, foi definido como base (seção 4.2.1), e o rádio amplificador, enviava as correções diferenciais das pseudodistâncias geradas na estação de referência ao rádio receptor, instalado na embarcação. As correções foram transmitidas continuamente através de um sistema de rádio, no formato RTCM 2.0. O computador, a bordo da embarcação, recebia simultaneamente as informações enviadas pelo receptor GPS no formato NMEA e as informações enviadas pelo ecobatímetro. O armazenamento das medidas, obtidas pelo GPS e pelo

ecobatímetro, posicionamento e profundidade respectivamente, foi realizado pelo programa Hypack.

É possível realizar em tempo real, através do programa, a visualização do traçado das linhas planejadas e o real percurso descrito pela embarcação, permitindo ao barqueiro corrigir a sua rota, aproximando-se das linhas pré-definidas. As reduções de maré para as sondagens foram realizadas a partir das leituras de uma régua maregráfica instalada nas proximidades do canal. As informações coletadas durante o levantamento foram, através do módulo *editing* do programa Hypack, devidamente corrigidas dos efeitos de maré e editadas.

5 PARTICULARIDADES DO PROGRAMA COMPUTACIONAL UTILIZADO (SURFER) NA GERAÇÃO DOS MODELOS BATIMÉTRICOS

Para o processo de geração das grades, o programa Surfer tem disponíveis vários interpoladores dentre eles: o inverso da distância, kriging, vizinho mais próximo, método de *Shepard*, mínima curvatura, função de base radial, triangulação com interpolação linear, etc. O interpolador utilizado neste trabalho para a geração das grades foi o inverso do quadrado da distância, o qual possui as seguintes características principais: este método utiliza um interpolador de média ponderada e que pode ser exato ou suavizante (*smoothing*) em relação à concordância com os pontos originais de observação. Durante a interpolação, os dados do levantamento são ponderados para que a influência de um ponto em relação a outro varie inversamente com a distância de um nó da grade regular ou seja, os pontos ou amostras mais próximos terão peso maior. Este é um método muito rápido para se gerar a grade, entretanto, tende a gerar curvas que circundam a posição dos pontos observados (FRANKE, 1982).

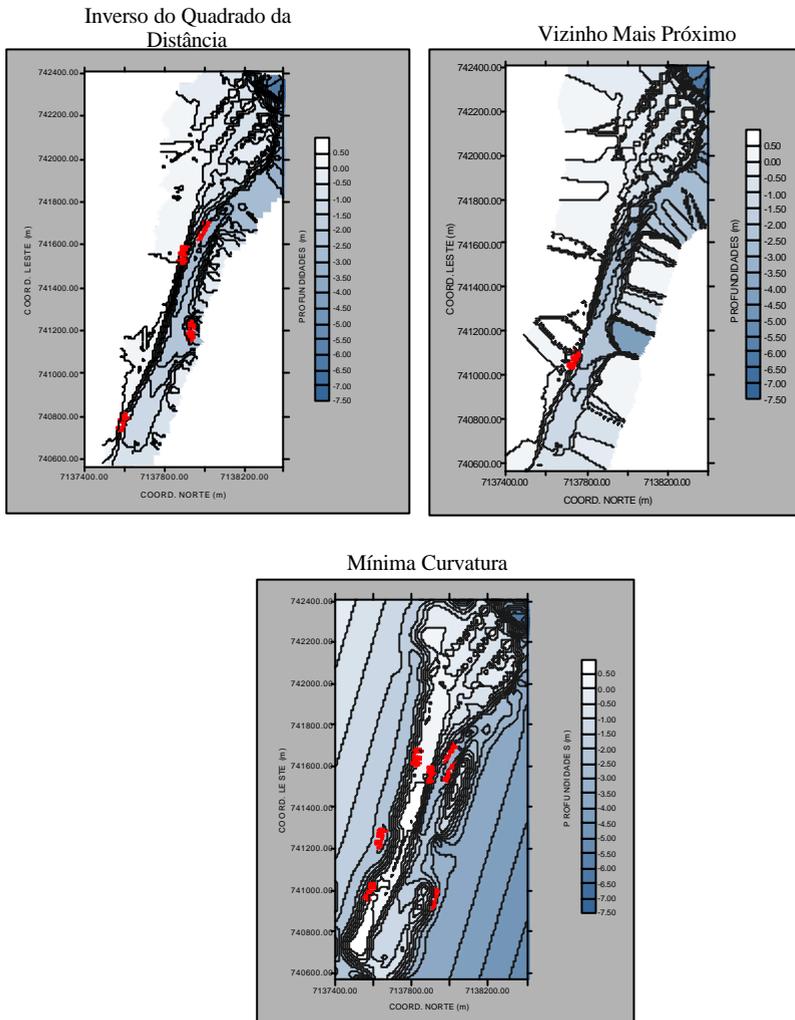
O Surfer permite gerar vários tipos de mapa, como por exemplo, mapas de fronteiras (*Boundary*), sombreados, de isolinhas, MDT, *post map*, mapas vetores (declividade), etc. Observam-se vantagens e desvantagens em cada interpolador na geração das grades e dos mapas derivados, sendo que o resultado está diretamente ligado ao comportamento do interpolador, ou seja, as características matemáticas de cada um deles em relação à superfície a ser modelada. A interpolação por sua vez dependerá da quantidade de dados (amostras) coletados em campo, bem como da sua distribuição espacial. Deve-se ressaltar que quando a quantidade de dados do levantamento é pequena, em relação à área em estudo, deve-se ao menos, buscar uma distribuição espacial uniforme dos pontos de observação, caso contrário, nenhum método de interpolação fornecerá bons resultados.

Os diversos processos de geração da malha em geral, utilizam métodos que necessitam de pontos de levantamentos distribuídos sobre uma grade regular. Cada método calcula os nós da grade por meio de diferentes algoritmos e os resultados

podem levar a diferentes interpretações dos dados. A escolha do método de interpolação para a geração da grade é uma fase importante, pois influencia na posterior geração de novos produtos e em toda a análise dos resultados. Os métodos para a formação da grade produzem arranjos de pontos regularmente espaçados com cotas de elevação obtidas de dados espaciais distribuídos irregularmente. Se os dados estão distribuídos de uma forma aleatória podem existir porções da área de estudo que não contenham pontos de observação por isso, faz-se necessário definir a escala (resolução) na qual a grade será gerada. A resolução adotada, para o caso dos levantamentos no canal, foi de 10m em X e 10m em Y, desta forma as grades geradas foram de 101 linhas por 185 colunas, tendo uma superabundância de pontos dentro da grade. O critério para definição da resolução é baseado na distribuição e quantidade de amostras, em conseqüência a grade será mais ou menos densa.

Uma outra etapa consistiu de uma análise do comportamento da área a ser modelada, a qual pode ser realizada por meio da comparação visual dos mapas de isobatimétricas, gerados a partir de grades que utilizaram diferentes interpoladores para a sua geração. Muitas das linhas podem ser posicionadas de forma não satisfatória, ou até fornecer resultados não confiáveis, quando comparados com os dados originais. Isto ocorre porque as isolinhas são determinadas unicamente por valores interpolados dos nós da grade e não diretamente pelos dados originais. A Figuras 5, ilustra os mapas de isobatimétricas gerados para uma mesma área, porém as grades foram geradas com diferentes interpoladores.

FIGURA 5 – CURVAS ISOBATIMÉTRICAS GERADAS COM DIFERENTES INTERPOLADORES

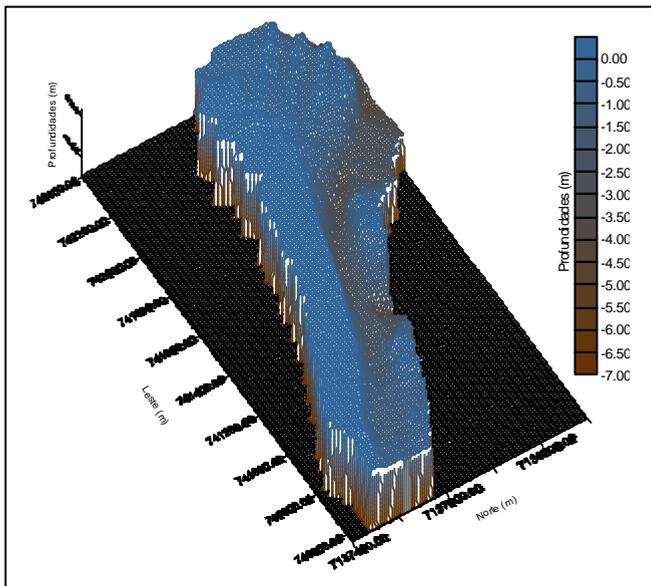


De posse das curvas de nível geradas, foi possível visualizar e analisar o comportamento das mesmas no que se refere aos interpoladores. Em princípio efetuou-se uma análise visual das curvas de nível, evidencia-se com esta análise que os interpoladores que representaram melhor o comportamento da superfície foram o inverso da distância e o vizinho mais próximo. O comportamento visual do mapa

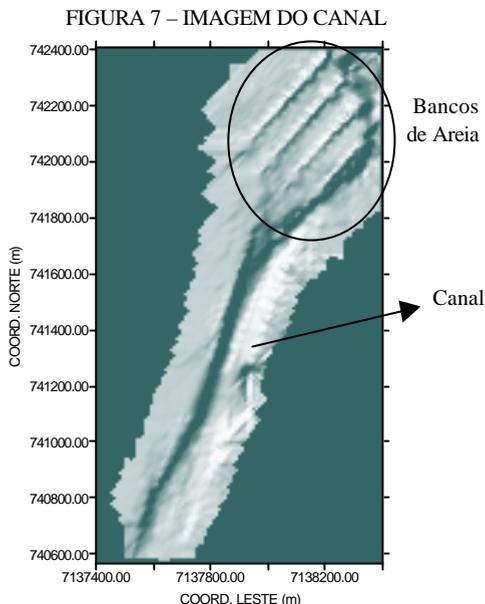
gerado com mínima curvatura justifica-se pelo fato dele não ser um interpolador exato. Ele produz uma grade por repetibilidade (iterações) aplicando uma equação diferencial biarmônica com tensores com o intuito de suavizar a grade. Mais detalhes sobre mínima curvatura ver: (SURFER, 1999).

Buscando-se uma análise quantitativa, partiu-se para outro teste visando à escolha do interpolador a ser utilizado. Buscou-se investigar qual interpolador retrataria de forma mais confiável o terreno a ser modelado com relação a quantidade e distribuição espacial das amostras. Utilizou-se então o módulo *grid/residuals* do programa. Esta ferramenta permite computar a diferença entre os valores de Z (cotas) dos dados originais e os valores de Z (cotas) dos dados interpolados. Com estes resultados o programa fornece medidas estatísticas que permitem a análise da qualidade das grades geradas com os dados originais. Coletaram-se alguns pontos aleatoriamente em todo o contorno da área (bordas) e também no seu interior de forma a computar os valores da média, desvio padrão dos interpoladores inverso do quadrado da distância, vizinho mais próximo, mínima curvatura. O teste forneceu desvios de 11,08cm, 11,95cm e 13,99cm, respectivamente. Adotou-se o - inverso do quadrado da distância. Mediante a grade gerada com este interpolador, foi possível gerar o modelo batimétrico do canal, bem como a imagem, conforme as Figuras 6 e 7.

FIGURA 6 – MODELO BATIMÉTRICO TRIDIMENSIONAL



Verifica-se claramente na Figura 7 a formação de bancos de areia



6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A integração dos sistemas GPS e Ecobatimétrico possibilita uma rapidez no processo de levantamentos batimétricos, contudo para o emprego deste verifica-se a necessidade de que o barqueiro esteja familiarizado com o sistema proposto. O interpolador utilizado na geração da grade (inverso do quadrado da distância) mostrou-se satisfatório uma vez que a grade gerada representou adequadamente a superfície real. Tanto a distribuição espacial quanto a quantidade de amostras foram satisfatórias analisando-se os resultados obtidos, referentes aos testes com os interpoladores, ele apresentou a melhor medida de dispersão/desvio padrão da ordem de 11,08cm indicando uma maior confiabilidade. O levantamento das linhas de sondagem referente a esta batimetria alcançou a precisão preconizada pela OHI, devido ao fato de se utilizar um programa para a coleta simultânea dos dados de posição e de profundidade que veio a facilitar a execução do levantamento e o processamento dos dados.

Verifica-se no modelo tridimensional batimétrico (Figura 6) e na Imagem (Figura 7) gerados, uma tendência, até certo ponto muito rápida, do acúmulo de

sedimentos no leito do canal, pois nota-se que em lugares de pouca movimentação de massa (embarcações) existem os bancos de areia.

A maré tem um efeito significativo sobre os levantamentos batimétricos, a situação ideal para esse tipo de levantamento se obtém quando a região a ser estudada está sob o efeito da maré alta (sizígia) possibilitando a execução e um controle de uma área maior, evitando-se desta forma regiões de baixios e bancos de areia. A escolha adequada do local para a implantação da estação de referência é de fundamental importância, pois, quanto mais próxima da estação móvel, maior será a precisão obtida no posicionamento da embarcação, visto que as correções recebidas e aplicadas por esta serão mais significativas. Antes de iniciar o levantamento batimétrico deve-se executar a calibragem do ecobatímetro, evitando desta forma a inserção de um erro sistemático nas profundidades obtidas. Esse trabalho amplia para discussões e aperfeiçoamento das técnicas e levantamentos envolvidos, visto a tendência em se monitorar áreas de importância ambiental e zonas costeiras para a conservação/preservação dos recursos naturais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASHTECH Z-XII. **PRISM Software Suite: Software User's Guide**. U.S.A, 1995.

DHN – Diretoria de Hidrografia e Navegação. **Especificações para levantamentos hidrográficos** (tradução da publicação especial da Organização Hidrográfica Internacional), 1998, 2ª edição, 36p.

DRAPER, N.; SMITH, H. **Applied regression analysis**. New York: Wiley interscience (2ª. ed. revised), 1981, 709 p.

FRANKE, R. **Scattered data interpolation: test of some methods, mathematics of computations**. Vol. 33, nº. 157, 1982, pp. 181-200.

HYPACK. Coastal Oceanographics (1995). Hipack for Windows. User's Manual Middlefield, CT. USA.

MIGUENS, A. P. **Navegação: a ciência e a arte** – 1996, Rio de Janeiro: DHN, 538p.

SURFER. **User's Guide**. Golden Software Inc. USA, 1999.

KRUEGER, C. **Investigações sobre aplicações de alta precisão do GPS no âmbito marinho**. CPGCG (Tese de Doutorado). UFPR. Curitiba, PR, 267p., 1996.

REGULARIZAÇÃO FUNDIÁRIA DE AGUDOS DO SUL, ESTUDO DE UM CASO.

Teotônio Marques da Silva Filho¹
Luana Sloboda²
Alessandra Svonka Palmeiro³
Sívio Rogério Correia de Freitas⁴
Edson Aparecido Mitishita⁵

1 Universidade Federal do Paraná – teotoniom@hotmail.com

2 Universidade Federal do Paraná – luanasloboda@msn.com.br

3 Universidade Federal do Paraná – ale_palmeiro@hotmail.com

4 Universidade Federal do Paraná – sfreitas@ufpr.br

5 Universidade Federal do Paraná – mitishit@geoc.ufpr.br

RESUMO

O projeto referido no título tem como objetivo a determinação de coordenadas para divisas de imóveis rurais, dentro das novas especificações das leis de regularização fundiária no país. A região escolhida fica ao leste do Município de Agudos do Sul - Paraná. Tendo em vista o baixo poder aquisitivo da região, existência de terras devolutas sem conflitos de posse e pela grande quantidade de pequenos proprietários, que não apresentam condições financeiras, é inviável o processo de regularização a partir de organismos particulares. O estudo será destinado a análise da qualidade e comparação dos diferentes tipos de levantamentos utilizados para regularização fundiária.

Palavras-chave: Regularização Fundiária; Geodésia; Fotogrametria;

ABSTRACT

The referred project has as objective the determination of coordinates for agricultural partitions, follow the new specifications of the Brazilian laws of agrarian owns regularization. The chosen region is in east of the city Agudos do Sul - Paraná. The choice condition of the area was the low level of economic activities in the region, in vacant areas, without conflicts of ownership and for the great amount of small owners, who do not have financial conditions to support the traditional process of regularization from particular enterprises. The study will be

destined to analyze the quality and comparison of the different types of surveys used for agrarian regularization.

Keywords: Regularization agrarian; Geodesy; Photogrammetry

1 – INTRODUÇÃO

Regularização Fundiária objetiva o reordenamento territorial pela adequação do uso do solo, a proteção dos recursos naturais, além de dotar o Estado de um sistema de informações territoriais que possibilite o planejamento, o estabelecimento e a execução, de forma ágil, racional e segura, de políticas públicas nas áreas de reforma agrária, meio ambiente e agricultura.

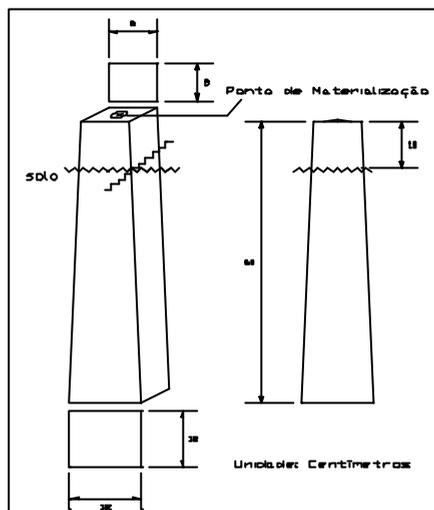
Terras devolutas é o termo utilizado para representar as terras que nunca foram objeto de regularização, por isso são de domínio do Estado ou da União (em casos específicos estabelecidos pela Constituição Federal). Até 1850, todas as terras no Brasil pertenciam à Coroa. A partir dessa data, com a primeira Lei de Terras, elas se tornaram passíveis de registro, como particulares, por doação ou legitimação de uma ocupação e a partir desta, por compra e venda. (MORAES, 2001)

Tendo em vista a situação descrita, este projeto tem a finalidade de realizar uma regularização fundiária, empregando diferentes métodos de levantamentos e realizar uma análise da qualidade dos resultados obtidos. A partir desta análise verificar quais métodos podem potencialmente atender as especificações da Lei 10.267/02.

2 – IMPLANTAÇÃO DE MARCOS

Objetivando a materialização das divisas foram implantados marcos nos lotes atingidos pelo processo de regularização, estes foram produzidos conforme as especificações apresentadas no MANUAL DE CARTOGRAFIA DO INCRA. O custo de produção destes marcos foi suportado pela Prefeitura Municipal de Agudos do Sul

FIGURA 01 – EDIFICAÇÃO DE MARCOS



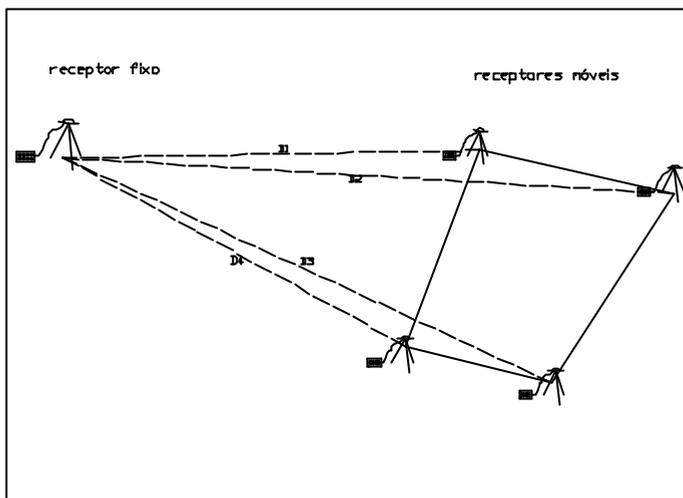
3 – LEVANTAMENTOS REALIZADOS

3.1 – LEVANTAMENTO GEODÉSICO

A determinação de pontos geodésicos visa o enquadramento dos limites da área de estudo ao Sistema Geodésico Nacional e o controle dos erros inerentes ao processo de medições lineares e angulares realizadas em campo. Nesta etapa deverá ser empregado o Sistema de Posicionamento Global (G.P.S.), para determinar as coordenadas geodésicas para o apoio fotogramétrico e também para determinar as coordenadas das divisas das parcelas atingidas pelo projeto de regularização. O método utilizado nestes levantamentos é o estático rápido. (LEICK, 1994)

Para a realização deste método tem-se como base um receptor numa estação base de coordenadas conhecidas, que serve como referência. Um receptor itinerante percorre os pontos os quais deseja-se obter as coordenadas. O receptor itinerante permanece parado no ponto de 5 a 20 minutos, dependendo da quantidade e geometria de satélites passante neste período para a região em questão. O tempo na estação e a quantidade de satélites são importantes, pois o método precisa de observações abundantes para a fixação das ambigüidades. Durante o processo de deslocamento de um ponto para outro o receptor instalado na base pode ser desligado. A recepção de sinais pode ser feita em frequência simples (L1) ou em dupla frequência (L1 e L2). (KRUEGER, 1996)

FIGURA 02- MÉTODO ESTÁTICO RÁPIDO



As posições de interesse são obtidas a partir de vetores que ligam o ponto de interesse com a base. As ambigüidades são resolvidas para cada estação apresentando assim soluções flutuantes (On the Flight). (SEEBER,1993)

Outro método de levantamento geodésico que será implementado para obtenção do MDE (Modelo Digital de Elevação) é utilização do DGPS (posicionamento diferencial). O princípio básico deste método consiste em utilizar-se simultaneamente dois receptores, um instalado em uma estação fixa de coordenadas conhecidas de forma bastante acurada, via de regra designada por estação de referência, e um outro em uma estação itinerante, normalmente em permanente movimento, designada por estação móvel. A partir da estação de referência são calculadas correções, denominadas correções diferenciais, as quais são transmitidas via algum enlace, p. ex. rádio-transmissor, para uma estação móvel, que as utiliza no processo de cálculo de sua posição. (JORDAN, 1999)

3.2 – LEVANTAMENTO FOTOGRAMÉTRICO

O recobrimento aéreo da região leste do Município de Agudos do Sul obedeceu ao plano de voo com as seguintes características:

- Sobreposição longitudinal de 80%
- Sobreposição transversal de 30%
- Escala de voo 1:15000

O processo de mapeamento utilizado foi a monorestituição. Trata-se da digitalização de entidades em uma aerofoto a partir de transformações matemáticas

que permitem a obtenção de coordenadas no sistema de projeção adotado. Para isso é necessário realizar todas orientações e utilizar o DTM da região, estas etapas serão descritas a seguir.

A orientação interior trata-se da obtenção de coordenadas corrigidas dos erros sistemáticos da imagem, são eles: trabalho do filme, correção da distorção radial simétrica, correção de distorção radial descentrada e refração fotogramétrica. A próxima etapa é realizar a determinação dos parâmetros necessários para transladar (X_0, Y_0, Z_0) e rotacionar $(\mathbf{K}, \mathbf{f}, \mathbf{w})$ o sistema fotogramétrico para o sistema geodésico cartesiano local, a partir de coordenadas de pontos no terreno e no espaço imagem. Empregando as equações de colinearidade na forma direta, determinam-se os parâmetros com a resolução de um sistema de equações. A próxima etapa consiste em realizar a orientação exterior de duas fotos no espaço, onde são determinados os seis parâmetros de orientação exterior de cada foto e as coordenadas tridimensionais de cada ponto no espaço objeto. A orientação absoluta do modelo é a obtenção do modelo matemático utilizado na transformação de coordenadas do referencial de modelo para o referencial geodésico local. A determinação dos parâmetros de transformação se dá a partir do modelo matemático isogonal.

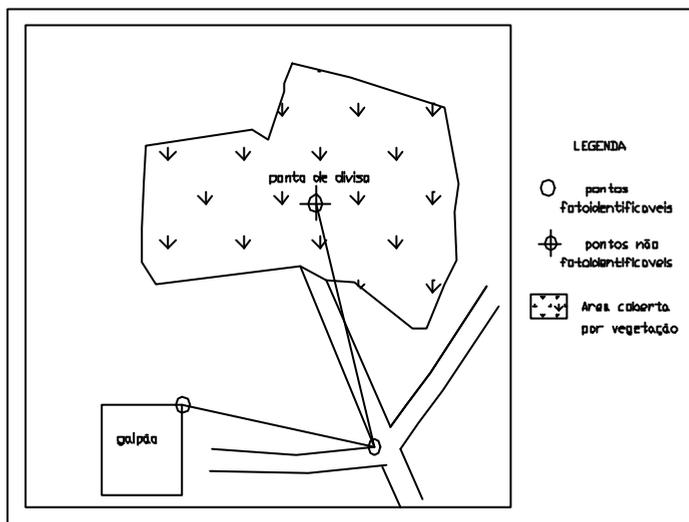
Modelo digital de elevação é o termo genérico empregado para referir-se ao modelamento matemático de superfícies. Pode-se definir como sendo um conjunto de pontos amostrados da superfície real num dado referencial e algoritmos que possibilitem construir um modelo matemático que reproduza da melhor maneira possível o comportamento altimétrico da superfície real. A obtenção das informações da superfície real para fins de modelamento matemático de superfícies consiste em levantar por técnicas de amostragem um certo número de pontos com coordenadas espaciais (X, Y, Z) . A correta definição dos pontos amostrados constitui a base de funcionamento dos algoritmos matemáticos utilizados na interpolação matemática de alturas.

Amostragem dos pontos em forma de perfis (perfilagem) é uma técnica mais empregada para obtenção de informações espaciais para fins de modelamento matemático de superfícies. O processo consiste em obter pontos representativos de relevo na região de estudo de maneira que os mesmos sejam amostrados de acordo com linhas sobrepostas à superfície. Perfilagem regular consiste em assumir que os pontos são coletados em forma de uma matriz, onde os espaçamentos entre linhas e colunas são previamente determinados. Geralmente é realizada por restituidores fotogramétricos analíticos que possibilitam a captura de pontos em intervalos de distâncias predeterminadas. Outro modo de perfilagem é a irregular. Neste processo não se leva em conta o exato espaçamento de pontos no perfil ou entre perfis. Os intervalos aproximados são definidos em função do tipo de relevo existente na região amostrada. (MITISHITA, 1997)

Atualmente os métodos realizados com finalidade de regularização fundiária, que atingem a precisão definida por lei, são feitos a partir de levantamentos

topográficos com poligonais fechadas e irradiações, apoiadas com coordenadas geodésicas. A grande questão levantada durante esta etapa dos trabalhos é a margem de segurança que a escala do vôo proporciona e até que ponto pode-se utilizar pontos fotoidentificáveis para determinação de azimutes e orientação de poligonais que atinjam as divisas não fotoidentificáveis. As respostas obtidas desta etapa serão de grande importância.

FIGURA 03 - ESQUEMA DE DETERMINAÇÃO DE COORDENADAS UTILIZANDO APOIO DE CAMPO EM ÁREAS NÃO FOTOIDENTIFICÁVEIS.



4 – MOSAICO

Após a obtenção das fotos aéreas, um dos produtos que podem ser gerados a partir destas é o mosaico. O mosaico pode ser considerado como sendo a montagem das fotos aéreas com preservação dos detalhes, permitindo a vantagem de representação de maiores áreas sem as quebras das imagens dos limites das fotos. É utilizado para diversas atividades como planejamento, monitoramento e obtenção de informações sobre a região de interesse.

O mosaico pode ser feito de duas formas: o controlado e o não controlado. O primeiro faz uso de pontos de apoio com coordenadas conhecidas, por levantamento GPS por exemplo, cujas coordenadas serão utilizadas para a correção geométrica do mosaico, o segundo é feito pela coincidência de detalhes, mas sem a correção geométrica.

O processo para a montagem do mosaico pode ser resumido nos seguintes passos: obtenção das fotos, digitalização destas em um equipamento adequado que permita a precisão desejada, utilização do modelo raster e dos pontos de controle para a correção geométrica se utilizada, ajustes finais e montagem das fotos com o auxílio de um programa comercial que permita a produção deste.

Para este trabalho foi produzido um mosaico não controlado, da região leste de Agudos do Sul.

Sobre a obtenção das imagens é necessário o conhecimento de resolução espacial e espectral.

A resolução espacial é baseada na geometria. É a capacidade do detector em distinguir objetos ou detalhes na superfície terrestre. Esta envolve duas noções: a abrangência territorial de cada imagem e a definição ou detalhe de observação possível de ser detectado em cada imagem.

No que diz respeito à abrangência geográfica da tomada de dados, esse interesse reside na possibilidade de ter-se uma visão simultânea de toda extensão da área preservada. Já no sentido da capacitação de detecção, esta atingindo a ordem do metro e tornando possível uma série de aplicações antes inimagináveis. A possibilidade de estereoscopia pelo recobrimento lateral, por exemplo, garantem hoje a construção de modelos de elevação em áreas carentes de dados topográficos.

A resolução espacial é expressa em termos do seu campo instantâneo de visada ou IFOV (“instantaneous field of view”), que define a área do terreno focalizada a uma dada altitude pelo instrumento sensor, representa o tamanho real do pixel.

A resolução geométrica de um detector é determinada pela resolução do ângulo sólido do IFOV e pela altitude do sistema sensor.

Resolução espectral são faixas espectrais que o sistema opera. Esta é definida pelo número de bandas espectrais de um sistema sensor e pela amplitude do intervalo de comprimento de onda de cada banda. O sistema óptico decide em que parte do espectro o sensor será capaz de receber a radiação refletida ou emitida pela superfície terrestre e o tipo de detector é responsável pela sensibilidade e pelo intervalo espectral de cada banda.

A medida da reflectância de um objeto pode ser feita de três modos: em laboratório, no campo ou a partir de uma plataforma elevada (helicóptero, avião ou satélite). Cada um destes modos determina diferentes resultados, porque são afetados pelos demais fatores que interferem na tomada das medidas: geometria da aquisição dos dados, parâmetros atmosféricos e parâmetros relativos ao alvo. Tais fatores podem ser controlados em laboratório, mas, em campo devem ser conhecidos, para que possam ser corrigidas as medidas efetuadas.

Durante o processo de montagem do mosaico não controlado nota-se claramente as distorções causadas pela inclinação do avião nos eixos K , F , w , e pela imperfeição das lentes. Deste modo observa-se, a coincidência central dos objetos e

variações grandes na coincidência de entidades próximas as bordas da fotografia, como pode-se ver na figura abaixo:

FIGURA 04 – DEMONSTRAÇÃO DAS ÁREAS DE MAIOR E MENOR DISTRORÇÃO OCORRIDAS NA MONTAGEM DO MOSAICO



5 - CONCLUSÕES

Sabendo que as leis atuais não permitem a determinação de coordenadas para parcelas rurais utilizando fotogrametria, os trabalhos realizados tiveram como objetivo tornar técnica essa discussão, permitindo assim uma análise da qualidade dos levantamentos fotogramétricos comparados aos métodos clássicos de levantamentos utilizados na determinação de coordenadas para as divisas rurais.

Após análises preliminares das etapas realizadas pode-se concluir que a utilização da fotogrametria é válida somente para alguns casos, como locais onde possa visualizar nitidamente os pontos a serem determinadas as coordenadas, sendo então inviável para regiões que possuam pontos de divisa em mata fechada, por exemplo. Deste modo a determinação de coordenadas para pontos não fotoidentificáveis deve ser feita utilizando apoio topográfico.

6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

JORDAM, Elaine N., **Base de Dados Geodésicos para o Estado do Paraná**, Curitiba, 1999.

MORAES, Evelyn M. L. de, **Sensoriamento Remoto - Princípios e Aplicações**, 2ª edição, 1998.

Manual de Cartografia do Inbra. **“Padronização de Marcos Geodésicos: Instrução Técnica”**, aprovadas através da Norma de Serviço N.º 29 do Diretor de Geociências do IBGE. Disponível em: <http://www.inbra.gov.br/htm/serveinf/htm/legislacao/instrun/42.htm>

MITISHITA, Edson A. , **Monorestituição digital de aerofotos, associada com Sistema de computação gráfica C.A.D., para fins de mapeamento na área florestal.** Curitiba, 1997.

LEICK, Alfred, **GPS Satellite Surveying**, 2nd ed, 1994.

SEEBER, Günter, **Satellite Geodesy: foundations, methods, and applications.** Berlin; New York, 1993.

MORAES, Carlito V. de, **Aprimoramento da Concepção do Modelo Geodésico para a Caracterização de Extremas no Espaço Geométrico.** Curitiba, 2001.

KRUEGER, Claudia P., **Investigação sobre Aplicações de Alta Precisão do GPS no Âmbito Marinho.** Curitiba, 1996.

7 - AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Prefeitura Municipal de Agudos do Sul, pela instalação dos marcos nas divisas das propriedades, e a CNPq pelo auxílio financeiro e bolsas de iniciação científica fornecidas.

OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE CALIBRAÇÃO DE GRAVÍMETROS A MOLA MÉTODOS E RESULTADOS OBTIDOS NO LAIG

Kauem Simões¹
Pedro Luis Faggion²
Silvio Rogério Correia de Freitas³
Regiane Dalazoana⁴
Jair Silveira da Silva Junior⁵

- 1 Universidade Federal do Paraná – kauem@hotmail.com
- 2 Universidade Federal do Paraná – faggion@geoc.ufpr.br
- 3 Universidade Federal do Paraná – sfreitas@ufpr.br
- 4 Universidade Federal do Paraná – regiane@geoc.ufpr.br
- 5 Universidade Federal do Paraná – jrs_cart@hotmail.com

RESUMO

Este trabalho tem por objetivo apresentar a metodologia desenvolvida no Laboratório de Instrumentação Geodésica (LAIG/UFPR) para otimizar o processo de calibração de gravímetros a mola, destacando a implementação de soluções computacionais bem como os resultados de diversos trabalhos realizados na área. Os procedimentos descritos foram aplicados em diversas campanhas de calibração do Curso de Pós-graduação em Ciências Geodésicas (CPGCG/UFPR) em conjunto com o Instituto Astronômico e Geofísico da Universidade de São Paulo (IAG/USP), Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e Observatório Nacional (ON), bem como no estabelecimento da Rede Gravimétrica de Alta Precisão do estado do Paraná. Todos os resultados com suas devidas análises serão apresentados no trabalho.

Palavras-chave: Gravimetria; Calibração de Gravímetros a Mola; Aplicativos

ABSTRACT

In this work is presented the methodology developed in the Laboratory of Geodetic Instrumentation (LAIG) of the Universidade Federal do Paraná for optimizing the calibration process of spring gravimeters. They are detached the implementation of computational solutions as well as the results of diverse field works carried out by

the LAIG. The described procedures had been applied in diverse campaigns of calibration of the Course of Graduation in Geodetic Sciences of the Universidade Federal do Paraná in set with the Astronomical and Geophysical Institute of the University of São Paulo, and Brazilian Institute of Geografia and Estatística, and National Astrorroof, as well as in the establishment of the Gravimetric Net of High Precision in the state of the Parana. All the results and their analyses are presented in the work.

Keywords : Gravimetry, Calibration of Spring Gravimeters, Applicatory

1. INTRODUÇÃO

1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Devido as alterações que ocorrem ao longo do tempo nas propriedades elásticas das molas que constituem o sistema interno dos gravímetros, estes devem ser submetidos periodicamente a processos de calibração. Tais alterações consistem na resposta do gravímetro às ações externas, e são expressas por uma função de transferência característica do instrumento. Esta função é constituída de duas parcelas distintas a serem determinadas: a das **componentes lineares e não lineares** (refere-se a tabela de conversão das leituras instrumentais em unidades gravimétricas, determinada por **calibração estática**) e a das **componentes periódicas** (refere-se a admitância do gravímetro com outras ações externas decorrentes das marés gravimétricas, do efeito indireto dos oceanos e dos efeitos ambientais associados com as variações da pressão atmosférica, umidade e temperatura do ambiente, determinada por **calibração dinâmica**) (FAGGION, 2002).

Na maior parte das aplicações da Gravimetria no Brasil, tais como o estabelecimento de redes geodésicas de apoio gravimétrico secundário ou fundamental, é exigido somente o conhecimento da primeira componente da função de transferência. O método que se tem mostrado mais efetivo é a calibração estática sobre linhas ou redes de pontos com gravidade conhecida. Estas linhas devem atender aos requisitos de precisão para levantamentos gravimétricos e apresentar um intervalo de valores com amplitude suficiente para cobrir a faixa de escala que será abrangida na utilização em campo. A Rede Nacional de Estações Gravimétricas Absolutas (RENEGA), atende aos requisitos de precisão ao nível de 10 microgal e uma faixa de 1245,283 miligal, abrangendo praticamente todo o intervalo necessário para levantamentos gravimétricos no Brasil (GEMAEL & ROSIER, 1990).

Neste contexto, torna-se importante a busca por uma padronização dos levantamentos gravimétricos realizados no País, como também a necessidade de que

os equipamentos utilizados sejam submetidos a processos periódicos de calibração, visando a coerência das observações com as variações físicas da gravidade e com a escala de uma rede de referência.

2. CALIBRAÇÃO ESTÁTICA SOBRE A RENEÇA

Este processo é composto de duas fases:

- Observações sobre estações da RENEÇA, em circuitos terrestres do tipo ida e volta;
- Determinação da nova tabela de conversão;

Sendo assim, foram desenvolvidos no LAIG, dois processos distintos para determinação da nova tabela de conversão: um a partir de um **polinômio característico** e outro a partir de um **fator de escala**.

As etapas de cálculo utilizadas para gerar a nova tabela foram desenvolvidas em base do que foi exposto por GEMAEL & ROSIER (1991) e resumidamente consistem em:

- Obtenção do valor médio das leituras em cada estação;
- Transformação das leituras médias em unidades instrumentais para unidades gravimétricas, usualmente o miligal (10^{-5} ms^{-2}), utilizando a tabela original de conversão de cada gravímetro;
- Cálculo da correção de maré terrestre devido a influência gravitacional do Sol e da Lua sobre as leituras;
- Correção das leituras médias devido a maré terrestre;
- Determinação da deriva estática: variação das indicações instrumentais ocasionadas quando o gravímetro se encontra em repouso por mais de uma hora. A deriva estática é determinada pela diferença entre as leituras médias obtidas no início e final da imobilidade do instrumento;
- Correção devido a deriva estática de todas as leituras efetuadas após o início da imobilidade do gravímetro;
- Determinação da deriva dinâmica: variação das indicações instrumentais ocasionadas quando o gravímetro se encontra em movimento. A deriva dinâmica é determinada pela diferença das leituras médias obtidas no início e final do levantamento do circuito gravimétrico dividida pelo tempo durante o qual o gravímetro ficou em movimento (tempo do levantamento subtraído de eventual tempo de parada). Esta é distribuída (somada algebricamente as leituras corrigidas da atração luni-solar e deriva estática) proporcionalmente ao tempo de movimento do gravímetro, de tal forma que a leitura na partida seja igual a leitura na chegada à estação;
- Correção devido a deriva dinâmica de todas as leituras do circuito;
- Cálculo das diferenças de gravidade entre as estações;

- Comparação das diferenças de gravidade entre as estações absolutas e as obtidas no levantamento utilizando a tabela original;
- Estabelecimento da nova tabela de calibração por **interpolação polinomial** (quando se trabalha com mais de duas estações de referência) ou por **fator de escala** (quando se trabalha com apenas duas), no caso de haver uma diferença entre o valor calculado e o valor absoluto, acima do limite de tolerância. Segundo o IBGE, para levantamentos gravimétricos de primeira ordem, o erro padrão máximo aceitável é de 0,05 miligal;
- Comparação das diferenças de gravidade entre as estações absolutas e as obtidas no levantamento utilizando a tabela calibrada, afim de verificar a eficiência das mesma.

A nova tabela de calibração consiste na realidade em uma sub-tabela com faixa de abrangência limitada pelas leituras máxima e mínima lidas sobre o circuito.

2.1 TABELA GERADA POR INTERPOLAÇÃO POLINOMIAL

A obtenção de uma nova tabela por interpolação polinomial, consiste em representar parte da tabela original do gravímetro por um polinômio característico de grau n , cujos coeficientes são obtidos ajustando os dados da tabela, na região considerada, pelo método dos mínimos quadrados. Com base nos valores observados (levantamento gravimétrico) e nos valores conhecidos de gravidade (RENEGA), tais coeficientes podem ser redeterminados e utilizados no polinômio para reconstrução da tabela na região estudada. Conforme FAGGION (2002) o grau do polinômio é diretamente proporcional ao número de circuitos estabelecidos para a calibração estática do gravímetro, ou seja, para dois circuitos, o polinômio gerado poderá ser no máximo do segundo grau. De forma geral, se n é o grau do polinômio, o número de diferenças conhecidas da gravidade deve ser igual ou maior do que n . Cabe ser destacado, no entanto, que para todos os estudos realizados até o momento pelo LAIG, ficou demonstrado que as melhores tabelas de calibração são geradas com polinômios de grau 2 ou 3, mesmo existindo superabundância de circuitos.

O polinômio característico da tabela é dado por :

$$y - y_0 = a (x - x_0) + b (x - x_0)^2 + c (x - x_0)^3 + \dots \quad (1)$$

onde:

x = leitura genérica em unidades instrumentais

x_0 = leitura em unidades instrumentais do limite inferior da parte analisada da tabela

y = valor em miligal da leitura genérica x

y_0 = valor em miligal da leitura x_0 , ambos correspondentes ao limite inferior da parte analisada da tabela

a, b, c = coeficientes linear, quadrático e cúbico do polinômio a serem determinados

Os limites inferior e superior das tabelas parciais são estabelecidos com base nas leituras efetuadas nas estações da RENEGA respectivamente com o menor e maior valor da gravidade.

Partindo-se da condição de que a diferença de gravidade entre duas estações gravimétricas absolutas é igual a diferença das leituras, expressas em miligal, entre os mesmas: $g_A - g_B = y_A - y_B$, obtém-se:

$$g_A - g_B = a (x_{Ap} - x_{Bp}) + b [(x_{Ap} - x_0)^2 - (x_{Bp} - x_0)^2] + c [(x_{Ap} - x_0)^3 - (x_{Bp} - x_0)^3] + \dots (2)$$

onde :

x = leituras corrigidas em unidades instrumentais (UI)

x_0 = leitura em unidades instrumentais do limite inferior da parte analisada da tabela
 a, b, c = coeficientes a serem determinados, expressas respectivamente em mGal/UI, mGal/UI², mGal/UI³

A, B = estações gravimétricas absolutas ocupadas

p = percurso (ida e volta)

Cada circuito fornece duas equações (2): uma para a ida e outra para a volta. Em notação matricial pode-se escrever:

$$AX = L \quad (3)$$

onde :

A = matriz das derivadas das equações em função dos parâmetros. Corresponde as leituras corrigidas em unidades instrumentais.

X = vetor dos coeficientes a determinar (a, b, c)

L = vetor das diferenças de gravidade associadas a cada par de estações absolutas

Como os sistemas são inconsistentes, uma vez que duas equações correspondem a cada diferença de gravidade, obtém-se a solução única pelo método dos mínimos quadrados conforme GEMAEL (1994):

$$X = (A^T A)^{-1} A^T L \quad (4)$$

Sendo A^T a matriz transposta de A . Com os coeficientes determinados (matriz X), são organizadas sub-tabelas calibradas para cada gravímetro. Essas tabelas parciais são construídas para os intervalos de leitura máximo e mínimo lidos sobre o circuito.

2.2. TABELA GERADA POR FATOR DE ESCALA

O fator de escala aqui mencionado consiste num número que corrige parte da tabela original do gravímetro, gerando uma nova sub-tabela de conversão calibrada. Este fator (F) é obtido dividindo a diferença de gravidade entre duas estações absolutas pela diferença de gravidade calculada a partir da tabela original.

$$F = \Delta g \text{ absolutas} / \Delta g \text{ tabela original} \quad (5)$$

A nova sub-tabela é gerada multiplicando parte da tabela original em que se pretende trabalhar pelo fator de escala calculado.

A utilização deste fator em vez do polinômio característico só ocorre quando não há necessidade de gerar uma sub-tabela com abrangência maior que duas estações absolutas. Em outros casos necessariamente utiliza-se a função polinomial descrita na subseção anterior.

3. IMPLEMENTAÇÃO COMPUTACIONAL

Desconsiderando a correção de maré terrestre e os cálculos de interpolação polinomial, todas as demais etapas descritas na seção 2 foram implementadas em planilha eletrônica. A tabela 01 mostra um exemplo de cálculo gravimétrico para o circuito Vinhedo-Curitiba, utilizando o gravímetro G-372. Os dados de entrada são: leitura média em cada estação, hora e minuto da leitura, valor da correção de maré terrestre, tempo que o gravímetro ficou em repouso e em movimento.

TABELA 01 – CÁLCULO GRAVIMÉTRICO EM PLANILHA ELETRÔNICA

Linha: Vinhedo-Curitiba				
Estação	Dia	Leitura do gravímetro (UI)	Hora (h,min)	Leitura do gravímetro (mGal)
Vinhedo-ren.	30/03/01	2250,541	15,50	2404,101
Curitiba-ren.	31/03/01	2434,495	26,12	2600,536
Curitiba-ren.	31/03/01	2434,506	27,29	2600,547
Vinhedo-ren.	31/03/01	2250,643	42,23	2404,210

C. de Maré (mGal)	Gravímetro em repouso-->	1,283333	Leitura Corrigida de Maré (mGal)
0,0006145000	Gravímetro em movimento-->	25,266667	2404,1013051
0,0601649000			2600,5956855
0,0905679000			2600,6378352
-0,0215280000			2404,1880803

Correção da Deriva Estática (mGal)	Correção da Deriva Dinâmica (mGal)	Correção da Deriva Dinâmica (UI)
2404,1013051	2404,101	2250,541575472
2600,5956855	2600,577	2434,534194956
2600,5956855	2600,577	2434,534194956
2404,1459306	2404,101	2250,541575472

A planilha transforma as leituras de unidades instrumentais para gravimétricas, aplica a correção de maré terrestre, corrige da deriva estática e dinâmica, transforma as leituras corrigidas de unidades gravimétricas para instrumentais e verifica a discrepância entre os valores absolutos e os calculados pela planilha.

Apesar da ampla utilização da planilha eletrônica, está sendo substituída por um aplicativo desenvolvido em ambiente de programação *Delphi* capaz de processar

dados gravimétricos de forma muito eficiente e precisa. O aplicativo que está sendo desenvolvido possui as seguintes características:

- Gera arquivos de extensão própria para qualquer cálculo realizado, permitindo recuperar informações de processamentos anteriores;
- Inclui as tabelas de calibração de diversos gravímetros *LaCoste&Romberg* modelo G, empregados no Brasil;
- Possibilita a criação e inserção de outras tabelas pelo próprio usuário gerando arquivos de extensão própria;
- Módulo para cálculo de circuitos gravimétricos (em fase de implementação);
- Módulo para processamento de calibração de gravímetros por interpolação polinomial (totalmente implementado); (figura 01)
- Padrão *Microsoft Windows*, fácil visualização e operação.

FIGURA 01 – MÓDULO PARA PROCESSAMENTO DE CALIBRAÇÃO DE GRAVÍMETROS

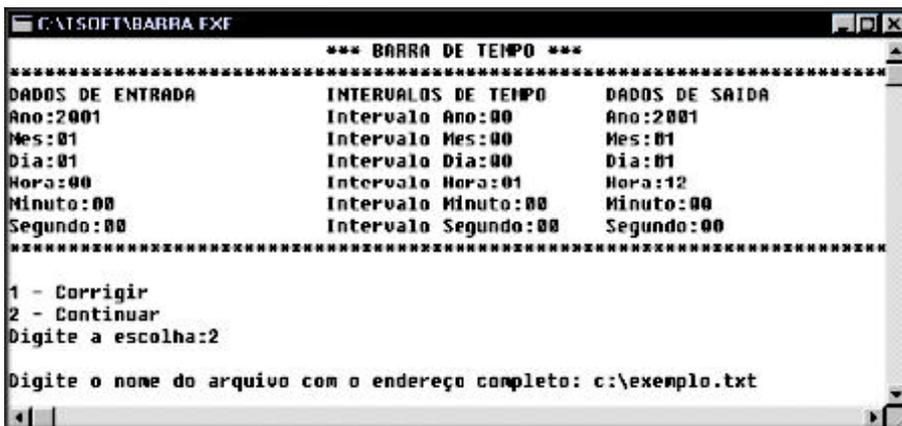
U.I.	Valor em mGal	Fator do intervalo
1700	1815,249000	1,067197
1800	1922,957727	1,067257
1900	2029,723415	1,067663
2000	2135,509747	1,068117
2100	2243,321400	1,068317
2200	2350,151056	1,068463
2300	2456,989395	1,068557
2400	2563,855096	1,068597
2500	2670,741640	1,068585
2600	2777,573306	1,068519
2700	2884,425175	1,068400
2800	2991,295127	1,068227
2900	3098,087842	1,068002

Com relação a correção de maré, esta é calculada de forma separada, pois seus cálculos necessitam de um volume de dados muito extenso e um rotina mais elaborada, sendo inviável a utilização de planilhas eletrônicas. Com o intuito de avaliar o comportamento da maré terrestre em um determinado período, por exemplo, na época de uma campanha gravimétrica, elaborou-se um aplicativo (figura 02) em ambiente de programação *Pascal* que gera um arquivo de escala temporal (passada-futura) (figura 03). Tal arquivo é posteriormente inserido num programa específico de geração de marés terrestres sintéticas, denominado TSOFT,

através da adoção de formatos apropriados. Gera-se então, os valores de maré no período pré estipulado (figura 04), mediante a adoção de um modelo de Terra, catálogo de Potencial e de parâmetros locais de maré, tomando como base os valores obtidos nas estações de marés terrestres pelo CPGCG/UFPR em diversas regiões do Brasil e Antártica (FREITAS & DUCARME, 1991). Este procedimento permite estimar a correção de maré, em caráter regional, num nível de precisão dez vezes maior que a obtida por algoritmos normalmente utilizados em gravimetria e posicionamento com GPS.

Todas as informações básicas foram inseridas no TSOFT, tornando possível a predição da maré terrestre sintética para qualquer época nas regiões de abrangência das principais estações brasileiras de marés terrestres. Busca-se atualmente integrar o aplicativo de geração de escala temporal com o desenvolvido em *Delphi*.

FIGURA 02 – APLICATIVO PARA GERAÇÃO DA ESCALA TEMPORAL



```
C:\TSOFT\BARRA.FXF
*** BARRA DE TEMPO ***
*****
DADOS DE ENTRADA      INTERVALOS DE TEMPO  DADOS DE SAIDA
Ano:2001              Intervalo Ano:00     Ano:2001
Mes:01                Intervalo Mes:00     Mes:01
Dia:01                Intervalo Dia:00     Dia:01
Hora:00               Intervalo Hora:01    Hora:12
Minuto:00             Intervalo Minuto:00  Minuto:00
Segundo:00            Intervalo Segundo:00 Segundo:00
*****
1 - Corrigir
2 - Continuar
Digite a escolha:2

Digite o nome do arquivo com o endereço completo: c:\exemplo.txt
```

FIGURA 03 – GERAÇÃO DA ESCALA TEMPORAL

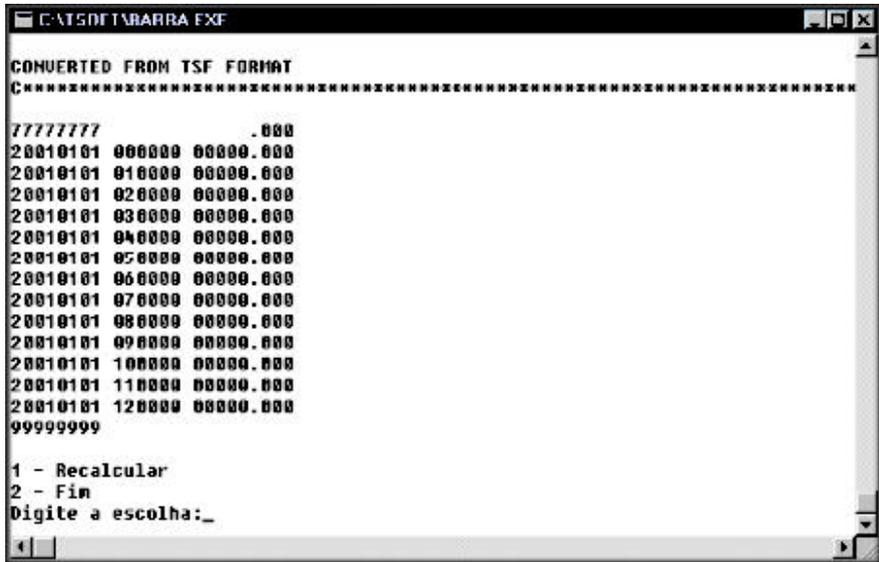


FIGURA 04 – GERAÇÃO DA CORREÇÃO DE MARÉ TERRESTRE

DATA	HORÁRIO	G (nm/s ²)	G (mGal)
20030409	000000	466.674	-0.0466674
20030409	000100	466.316	-0.0466316
20030409	000200	465.940	-0.0465940
20030409	000300	465.548	-0.0465548
20030409	000400	465.138	-0.0465138
20030409	000500	464.712	-0.0464712
20030409	000600	464.269	-0.0464269
20030409	000700	463.809	-0.0463809
20030409	000800	463.332	-0.0463332
20030409	000900	462.837	-0.0462837
20030409	001000	462.326	-0.0462326
20030409	001100	461.797	-0.0461797
20030409	001200	461.250	-0.0461250
20030409	001300	460.686	-0.0460686
20030409	001400	460.105	-0.0460105
20030409	001500	459.506	-0.0459506
20030409	001600	458.890	-0.0458890
20030409	001700	458.256	-0.0458256
20030409	001800	457.604	-0.0457604
20030409	001900	456.934	-0.0456934

4. RESULTADOS OBTIDOS

4.1. CAMPANHA DE CALIBRAÇÃO DE GRAVÍMETROS

Realizou-se em março/abril de 2001 uma campanha conjunta IBGE-UFPR com a finalidade de se estabelecer tabelas de calibração provisórias para um conjunto de gravímetros *LaCoste & Romberg* modelo G, mediante a ocupação de quatro estações da RENEGA (Brasília (DF), Vinhedo (SP), Curitiba (PR) e Santa Maria(RS)). Os instrumentos analisados foram: G-068, G-111, G-114, G-143, G-145 e G-613 (todos do IBGE), e G-372 (UFPR).

O método de campo utilizado foi circuitos terrestres de ida e volta, envolvendo somente duas estações em cada circuito: Vinhedo-Brasília-Vinhedo, Vinhedo-Curitiba-Vinhedo, Santa Maria-Curitiba-Santa Maria, envolvendo três diferenças de valores absolutos de gravidade.

O processamento das observações inicialmente ficou prejudicada devido os dados enviados pelo IBGE apresentarem erros grosseiros (arquivos de cadernetas com dados trocados). Neste ano o IBGE enviou uma cópia das cadernetas originais, o que possibilitou o processamento das observações de todos os gravímetro bem como a geração de novas tabelas.

Apresenta-se a seguir o processamento das observações obtidas com o gravímetro G-372. O cálculo dos circuitos efetuado com a conversação das unidades instrumentais em gravimétricas, de acordo com a tabela original do gravímetro, apresentou discrepâncias em relação às diferenças conhecidas da gravidade entre as estações ocupadas da RENEGA, conforme apresentado na tabela 02

TABELA 02 – DICREPÂNCIAS DAS DIFERENÇAS DE GRAVIDADE

Linhas das Estações da RENEGA	Estações Absolutas módulo (mGal)	Tabela Original módulo (mGal)	Discrepâncias (mGal)
Vinhedo-Brasília	514,980	514,885	0,095
Vinhedo-Curitiba	196,609	196,476	0,133
Sta. Maria-Curitiba	501,249	501,012	0,237

Observando as discrepâncias, verifica-se que são maiores que a tolerância de 0,050 mGal, indicando a necessidade de estabelecer uma nova tabela de conversão.

Com as leituras corrigidas em unidades instrumentais obtidas pela tabela original e os valores de gravidade das estações da RENEGA, gerou-se novas tabelas utilizando polinômios de segundo e terceiro grau com o programa descrito na seção 3. Com as sub-tabelas obtidas calculou-se novamente o circuito. Os resultados obtidos são apresentados na tabela 03.

TABELA 03 – DISCREPÂNCIAS ENTRE AS DIFERENÇAS DE GRAVIDADE

Circuitos Ida-Volta	Leituras Corrigidas Unidades Instrumentais	Tabela Original (mGal)	Tab. Calibrada Grau 2 (mGal)	Tab. Calibrada Grau 3 (mGal)
Vinhedo	2250,561227	+0,095	-0,012	+0,003
Brasília	1768,358236			
Brasília	1768,358236			
Vinhedo	2250,561227			
Vinhedo	2250,541575	+0,133	0,061	+0,001
Curitiba	2434,534194			
Curitiba	2434,534194			
Vinhedo	2250,541575			
Sta. Maria	2903,726924	+0,237	-0,011	+0,001
Curitiba	2434,591825			
Curitiba	2434,591825			
Sta. Maria	2903,726924			

Verifica-se que a nova sub-tabela gerada com polinômio de grau 2 não apresentou um resultado satisfatório para a linha Vinhedo-Curitiba, excedendo a resolução instrumental do gravímetro. Já a sub-tabela gerada com polinômio de grau 3 (tabela 04) obteve discrepâncias abaixo da resolução instrumental para todas as linhas; que provavelmente ocorreu devido a determinação dos coeficientes ter sido realizada com a condição mínima (3 diferenças de gravidade para 3 coeficientes).

TABELA 04 – SUB-TABELA GERADA PARA O GRAVÍMETRO G-372

Tabela Calibrada- Grau 3		
UNIDADES INSTRUMENTAIS	VALOR EM MILIGAL	FATOR PARA O INTERVALO
1700	1816,24800	1,067162
1800	1922,96416	1,067540
1900	2029,71817	1,067862
2000	2136,50435	1,068127
2100	2243,31701	1,068335
2200	2350,15049	1,068486
2300	2456,99910	1,068581
2400	2563,85718	1,068619
2500	2670,71905	1,068600
2600	2777,57902	1,068524
2700	2884,43143	1,068392
2800	2991,27059	1,068202
2900	3098,09084	1,067957

4.2. REDE GRAVIMÉTRICA CIENTÍFICA DO ESTADO DO PARANÁ

Devido aos erros contidos nos arquivos enviados pelo IBGE da campanha de calibração 2001, o estabelecimento de novas sub-tabelas ficou totalmente inviável até este ano, quando foi possível processar os dados adequadamente. Então, para o estabelecimento da rede gravimétrica científica do estado do Paraná (FREITAS, 2002) foi necessária uma nova calibração estática dos 5 gravímetros utilizados: 4 gravímetros *Lacoste & Romberg* modelo G (G114-IBGE, G143-IBGE e G372-LAIG/UFPR) e modelo D(D99-LAIG/UFPR) e um Scintrex modelo CG3M-LPGA/UFPR.

Tendo em vista que a área de abrangência da rede está no intervalo obtido com a diferença entre as estações de Curitiba e Valinhos, optou-se por ocupar estas estações da RENEGA

Os resultados são apresentados na tabela 05.

TABELA 05 – DISCREPÂNCIAS DAS DIFERENÇAS DE GRAVIDADE PARA A LINHA CURITIBA-VALINHOS

Gravímetros	Estações Absolutas Módulo (mGal)	Tabela Original Módulo (mGal)	Discrepâncias módulo (mGal)	Fator de Escala
G114	196,609	197,006	0,397	0,997985
G143	196,609	196,552	0,057	1,000290
G372	196,609	196,475	0,134	1,000683
D99	196,609	196,330	0,279	-
Scintrex	196,609	196,890	0,281	-

Observando as discrepâncias das diferenças de gravidade entre as estações absolutas e as obtidas no levantamento utilizando a tabela original, fica evidenciado a necessidade de estabelecer uma nova tabela de conversão para gravímetros. Para o gravímetro D99, devido seu comportamento linear, não há necessidade de estabelecer uma tabela, e sim um fator de conversão de unidades instrumentais para unidades gravimétricas. Para os gravímetros modelo G gerou-se novas sub-tabelas de conversão a partir de um fator de escala (subseção 2.2.). A nova sub-tabela é gerada multiplicando parte da tabela original em que se pretende trabalhar pelo fator de escala. (tabela 06)

TABELA 06 – TABELA ORIGINAL E CORRIGIDA PARA O GRAVÍMETRO G-114
UTILIZANDO FATOR DE ESCALA DE 0,997985

TABELA ORIGINAL DO GRAVÍMETRO G114		
Unidades instrumentais*	Valor em mGal	Fator para intervalo
2100	2212,620	1,05520
2200	2318,140	1,05540
2300	2423,680	1,05560
2400	2529,240	1,05585
2500	2634,825	1,05605
2600	2740,430	1,05625
NOVA TABELA CORRIGIDA G114		
Unidades instrumentais*	Valor em mGal	Fator para intervalo
2100	2208,162257	1,0530740991
2200	2313,469666	1,0532736962
2300	2418,797036	1,0534732932
2400	2524,144365	1,0537227895
2500	2629,516644	1,053922386
2600	2734,908883	1,054121984

* Só foi aplicado o fator de escala no intervalo de unidades instrumentais envolvido na campanha. Para aplicação mais generalizada deve ser procedida uma campanha de calibração envolvendo todo o intervalo da RENEGA.

O procedimento exposto anteriormente é válido quando não há necessidade de uma grande abrangência da tabela, como é o caso da rede gravimétrica no estado do Paraná. Para tal calibração, a ocupação de somente duas estações gravimétricas (Curitiba e Valinhos) já é suficiente e não compromete os resultados.

5. CONCLUSÕES

Na calibração utilizando-se somente duas estações gravimétricas absolutas, caso da calibração em 2002, verificou-se que é perfeitamente possível utilizar-se de um fator de escala para a conversão da tabela original na tabela calibrada, sem trazer prejuízo aos dados, desde que o intervalo envolvido não exceda à diferença entre as estações absolutas.

O aplicativo desenvolvido pelo LAIG/UFPR para calibração de gravímetros possibilita otimizar os cálculos envolvidos, tornando o processo mais rápido e eficiente. Busca-se atualmente incluir novas funções (cálculos de circuitos gravimétricos, correção de maré e determinação das anomalias da gravidade), disponibilizando ao usuário um pacote completo para processamento de dados gravimétricos.

6. REFERÊNCIAS

FAGGION, P. L.; CORREIA, S. R. C.; GEMAEL, C.; SIMÕES, K.; SILVA JUNIOR, J. S.; SANTOS JUNIOR, G. Controle de Função de Transferência de Gravímetros a Mola: Metodologia e Resultados Obtidos na U.F.P.R..

In: **Anais Simpósio Brasileiro de Geomática, 25 Anos do Curso de Engenharia Cartográfica da UNESP**, Presidente Prudente, SP, 2002. 8p.

FREITAS, S. R. C.; DUCARME, B. **Re-analysis of brazilian tidal gravity stations with sensitivity smoothing method and comparison of tidal gravimetric factors**. Bull. Inf. Marées Terr., Int. Ass. Geodesy, 111:8099-8129. 1991. 31p.

FREITAS, S. R. C.; SANTOS JR., G.; FAGGION, P. L., GEMAEL, C.; SILVA JR., J. S.; SIMÕES, K. Concepção dos levantamentos gravimétricos para o estabelecimento da rede gravimétrica de alta precisão no Estado do Paraná.

In: **Anais Simpósio Brasileiro de Geomática, 25 Anos do Curso de Engenharia Cartográfica da UNESP**, Presidente Prudente, SP, 2002. 7p.

GEMAEL, C. **Introdução ao ajustamento de observações: aplicações geodésicas**. Curitiba: Ed. UFPR, 1994. 319p.

GEMAEL, C.; ROSIER, F. A. **Calibração de Gravímetros Usando a RENEGA**. Curitiba: CPGCG/UFPR, 1990. 5p.

GEMAEL, C.; ROSIER, F. A. **Relatório sobre o ensaio de calibração de uma série de gravímetros LaCoste & Romberg modelo G**.

Curitiba: CPGCG/UFPR, 1991. 15p.

IBGE. **Especificações e Normas Gerais para Levantamentos Geodésicos**. Resolução PR – n.º.22, de 21-07-1983

7. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq/Fundação Araucária Processo 520885/99-6 pelo apoio financeiro e bolsas concedidas e ao IBGE pelo empréstimo de dois gravímetros Lacoste & Romberg (G114 e G143).

POSICIONAMENTO COM O DGPS: ANÁLISE DOS RESULTADOS EM FUNÇÃO DA VARIAÇÃO ESPACIAL E DA TAXA DE ATUALIZAÇÃO DAS CORREÇÕES

William Rodrigo Dal Poz¹
Claudinei Rodriguês de Aguiar¹
Paulo de Oliveira de Camargo^{1,2}
João Fransisco Galera Monico^{1,2}

¹Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas – FCT/UNESP

²Departamento de Cartografia – FCT/UNESP

{dalpoz, aguiar, paulo, galera}@prudente.unesp.br

RESUMO

O DGPS é um método de posicionamento que foi desenvolvido com a finalidade de reduzir os efeitos da disponibilidade seletiva (SA) imposta ao GPS no modo absoluto. No DGPS são aplicadas as correções calculadas na estação base em um receptor móvel. Na prática, o DGPS envolve o uso de um receptor estacionário numa estação base com coordenadas conhecidas que rastreia todos os satélites visíveis simultaneamente com relação a um receptor móvel. Como se conhecem as coordenadas da estação base, calcula-se os erros das pseudodistâncias observadas. Estes erros, geralmente, são enviados para a estação móvel por intermédio de um *link* de rádio. A precisão do DGPS é influenciada por vários fatores, como por exemplo, a distância entre as estações, a qualidade do sistema de comunicação, a taxa de atualização das correções, a latência dos dados, entre outros. Este trabalho tem como objetivo analisar a precisão do posicionamento com DGPS, em função da distância entre as estações e da taxa de atualização dos dados. Neste trabalho as distâncias não ultrapassaram 3684 metros. Foi utilizado um receptor GPS Ashtech ZXII, responsável pelo cálculo e envio das correções, e um receptor Ashtech Reliance que atuou como móvel, recebendo as correções via *link* de rádio da Pacific Crest Corporation. Os resultados mostraram que não ocorreu correlação inversa dos resultados com o aumento da distância. Pode-se afirmar que o mesmo ocorreu com relação à variação dos valores da taxa de atualização das correções.

Palavras-chave: DGPS; Variação espacial; Taxa de atualização das correções

ABSTRACT

DGPS (Differential GPS) it is a positioning method that was developed with the purpose of reducing the effects of the selective availability (SA) imposed to GPS in the absolute mode. In DGPS they are applied corrections calculated in the station base in a rover receiver. In practice, DGPS involves the use of a stationary receiver in a station with known coordinates that tracks all visible satellites simultaneously with rover one. As the coordinates of the base station are known, it is calculated the pseudorange errors, which, usually, are sent to the rover station via a link of radio. The precision obtained by DGPS is influenced by several factors, as for instance the distance between the base and rover stations, the quality of the communication system, the updating rate of the corrections, the latency of the data, among others. This work has as objective to analyse the precision of the positioning with DGPS, as function of the distance between the stations and the updating rate of the corrections of the data. In the case of this work, the distances did not reach more than 3684 meters. An Ashtech ZXII receiver was used, which was responsible for the calculation of the corrections, which were sent by radio. The rover receiver was an Ashtech Reliance, equipped to receive the corrections. The results showed that did not occur an inverse correlation between the accuracy of the results and the distances between both receivers. It can also be affirmed with relation to the updating rate of the corrections.

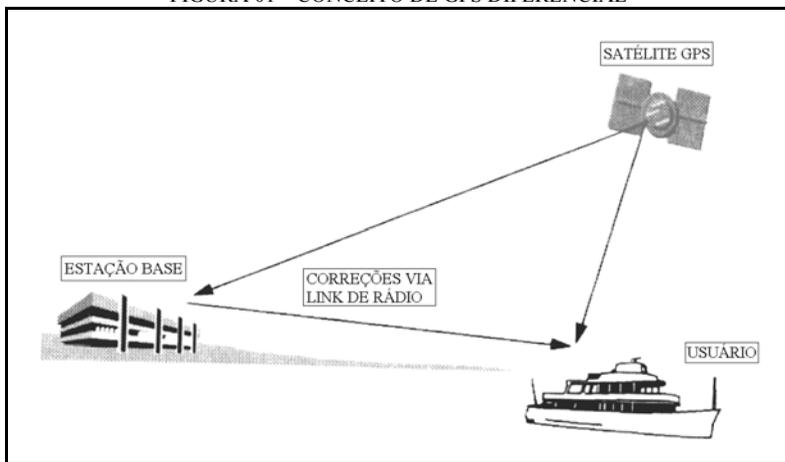
Keywords: DGPS; Space variation; Updating rate of the corrections

1. INTRODUÇÃO

Vários são os métodos de posicionamento com GPS, que, basicamente, podem ser realizados na forma absoluta ou relativa. No primeiro caso, as coordenadas estão associadas diretamente ao geocentro, enquanto que, no segundo, as coordenadas são determinadas com relação a um referencial materializado por um ou mais vértices com coordenadas conhecidas. Vale salientar que os objetos a serem posicionados podem estar em repouso ou em movimento, dando origem, respectivamente, aos métodos de posicionamento estático e cinemático. Ainda, tem-se o DGPS (*Differential GPS*), que também pode ser realizado no modo estático ou cinemático. Na literatura, algumas vezes é verificado que o DGPS e o posicionamento relativo são tratados como sinônimos. No entanto, trata-se de dois métodos distintos. Enquanto que no método relativo existe um vetor ligando as duas estações, no DGPS são aplicadas as correções calculadas na estação base para realizar o posicionamento por ponto no receptor móvel (Monico, 2000).

O DGPS foi desenvolvido com a finalidade de reduzir os efeitos da disponibilidade seletiva (SA) imposta ao GPS no modo absoluto. O método que utiliza somente a pseudodistância é mais empregado na prática. Esse método pode proporcionar precisão da ordem de 1 a 5 m (Monico, 2000). Na prática, o DGPS envolve o uso de um receptor estacionário numa estação base com coordenadas conhecidas que rastreia todos os satélites visíveis simultaneamente com relação a um receptor móvel. Este fato, permite que sejam aplicadas as correções calculadas pela estação base na estação móvel. No DGPS considera-se que os erros atuantes nos dois receptores são correlacionados, principalmente os relacionados com a ionosfera e a troposfera, dentro de certos limites. Estes erros são calculados a partir da diferença entre as pseudodistâncias medidas pelo receptor e as calculadas em função das coordenadas conhecidas da estação base, e que, geralmente, são enviados para a estação móvel por intermédio de um *link* de rádio. Os erros devido à razão sinal ruído do receptor e ao multicaminho não são reduzidos, pois são de caráter local. A figura 01 ilustra o conceito de DGPS (Monico, 2000).

FIGURA 01 – CONCEITO DE GPS DIFERENCIAL



A precisão obtida pelo DGPS é influenciada também por outros fatores, como por exemplo, a distância entre a estação base e a móvel, a qualidade do sistema de comunicação, a taxa de atualização dos dados ou correção, a latência dos dados, entre outros. Dentre esses fatores, a distância entre as estações (variação espacial) e a taxa de atualização dos dados, serão consideradas neste trabalho para avaliar a qualidade do resultado do posicionamento com o DGPS em termos de precisão.

No caso da variação espacial, à medida que aumenta a distância entre as estações base e móvel, a correlação entre os erros atuantes nas duas estações começa a diminuir. Quanto menor a distância maior será a correlação entre os erros e,

conseqüentemente, melhor será a correção calculada. Há uma degradação da precisão com o afastamento da estação base, mas podendo ainda proporcionar resultados adequados a algumas aplicações em regiões afastadas de até 1000 km. Neste caso a precisão deve ficar no intervalo de 1 a 10 m (Monico, 2000).

Relacionado com a taxa de atualização das correções, ou seja, com a idade das correções, está a capacidade do receptor base realizar o posicionamento absoluto e gerar as correções, bem como a taxa de variação dessas correções.

A variação temporal diz respeito é a latência (atraso) das correções diferenciais, que consiste no intervalo de tempo decorrido desde o instante à que se referem as correções, ou seja, ao instante em que foram geradas pela estação de referência, até o instante em que são efetivamente utilizadas pela estação móvel, no cálculo de sua posição (Briones e Kueguer, 1999). A latência está relacionada às características técnicas do sistema que efetua os cálculos, o controle e o envio das correções por um meio de transmissão. Um fator que influencia diretamente a latência é a capacidade de transmissão de dados do meio de comunicação utilizado, ou seja, sua taxa de transmissão, dada em bits por segundo (bps) (Saatkamp e Krueger, 2002). À medida que aumenta a capacidade de transmissão, o tempo de latência diminui, ou seja, a latência é inversamente proporcional à capacidade de transmissão.

Levando em consideração o escasso número de trabalhos relacionados com o DGPS, principalmente, após a desativação da técnica SA, no que diz respeito à análise da variação espacial e da taxa de atualização das correções, este trabalho tem como objetivo principal investigar e analisar estas variáveis e suas influências no resultado do posicionamento com o DGPS em distâncias curtas.

2. METODOLOGIA

A metodologia empregada neste trabalho consistiu, basicamente, de duas fases. A primeira, consistiu na materialização de 6 pontos, aproximadamente colineares. O primeiro desses pontos foi definido como base e sua posição foi determinada utilizando um receptor GPS Ashtech ZXII, e os demais, com receptores da Trimble 4600 LS. A estação base foi determinada com relação à estação UEPP, pertencente à Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC), pelo método de posicionamento relativo estático. Na seqüência, os demais pontos foram determinados em relação à estação base, utilizando o método de posicionamento relativo estático rápido. Estes pontos distam, respectivamente, 511 m, 1045 m, 1515 m, 2597 m e 3684 m da estação base. O processamento dos dados coletados foi realizado no software GPSurvey, versão 2.35a, e as médias das precisões das coordenadas planimétricas (N, E) e altimétrica (h) foram, respectivamente, 0.008 m, 0.014 m e 0.019 m.

Na segunda etapa deste trabalho, foi realizado o DGPS. Na estação base foi utilizado o receptor GPS Ashtech ZXII, responsável pelo cálculo das correções nas

pseudodistâncias e envio das mesmas. Um receptor Ashtech Reliance atuou como móvel nos demais pontos, recebendo as correções, as quais foram enviadas via *link* de rádio da Pacific Crest Corporation.

Em cada ponto, foram realizados 5 posicionamentos com o DGPS, com diferentes valores para a taxa de atualização das correções. Primeiramente, foi adotada a geração contínua das correções, bem como das suas variações, o que corresponde, no caso do receptor Ashtech ZXII, a uma taxa de atualização de 1/2 segundo. Posteriormente, foram adotados outros valores, correspondentes a 20, 30, 60 e 90 segundos.

No momento de ocupação dos pontos foram introduzidas no coletor do Receptor Reliance as coordenadas de referência, determinadas na primeira fase do trabalho. Com isso, foi possível determinar o erro em planimetria (EP), que indica a acurácia do posicionamento. Foram também observados o número de satélites utilizados no DGPS (SATs), o HDOP, o VDOP e o valor da altitude no momento do posicionamento. Todos esses valores foram coletados 10 vezes para cada ocupação do ponto, com as correspondentes taxas de atualização das correções. Em seguida, calculou-se a média de todos esses valores, bem como o desvio padrão da média do erro em planimetria (σ_{EP}) e altimetria (σ_{Eh}).

3. RESULTADOS E ANÁLISES

Os erros em planimetria e altimetria, bem como os seus respectivos desvios padrão, o HDOP, VDOP e o número de satélites no momento de rastreamento, são apresentados nas tabelas 01, 02, 03, 04, e 05. Em cada tabela são apresentadas as médias dos 10 valores coletados para cada taxa de atualização, bem como as distâncias dos pontos em relação à estação base.

TABELA 01 – RESULTADOS OBTIDOS COM A GERAÇÃO CONTÍNUA DAS CORREÇÕES

Distância da base (m)	SATs	EP (m)	σ_{EP} (m)	Hdop	Eh (m)	σ_{Eh} (m)	Vdop
511	7	0,681	0,050	1,00	0,523	0,244	2,33
1045	6	0,498	0,053	1,30	0,458	0,156	3,30
1515	7	0,855	0,169	1,20	0,277	0,192	1,70
2597	9	0,418	0,026	0,90	0,934	0,097	1,60
3684	8	0,997	0,028	1,10	0,698	0,054	1,90

TABELA 02 – RESULTADOS OBTIDOS COM CORREÇÕES GERADAS A CADA 20 SEGUNDOS

Distância da base (m)	SATs	EP (m)	σ_{EP} (m)	Hdop	Eh (m)	σ_{Eh} (m)	Vdop
511	6	0,338	0,046	1,25	0,303	0,172	2,45
1045	7	0,417	0,060	1,08	0,018	0,383	2,53
1515	6	0,549	0,055	1,40	1,163	0,104	2,00
2597	9	0,161	0,023	0,80	0,216	0,127	1,40
3684	7	0,523	0,026	1,00	0,802	0,172	1,91

TABELA 03 – RESULTADOS OBTIDOS COM CORREÇÕES GERADAS A CADA 30 SEGUNDOS

Distância da base (m)	SATs	EP (m)	σ_{EP} (m)	Hdop	Eh (m)	σ_{Eh} (m)	Vdop
511	6	0,625	0,057	1,20	0,743	0,124	2,75
1045	8	0,523	0,038	0,90	0,788	0,186	1,90
1515	7	0,853	0,186	1,20	1,223	0,239	1,80
2597	9	0,185	0,025	0,80	0,104	0,080	1,41
3684	7	0,694	0,040	1,00	0,152	0,173	1,79

TABELA 04 – RESULTADOS OBTIDOS COM CORREÇÕES GERADAS A CADA 60 SEGUNDOS

Distância da base (m)	SATs	EP (m)	σ_{EP} (m)	Hdop	Eh (m)	σ_{Eh} (m)	Vdop
511	7	0,901	0,241	1,04	0,443	0,201	2,06
1045	7	0,462	0,079	1,10	2,352	0,367	2,45
1515	7	0,302	0,063	1,20	0,093	0,178	1,80
2597	9	0,197	0,027	0,90	0,116	0,095	1,50
3684	7	0,892	0,050	1,07	0,558	0,127	1,84

TABELA 05 – RESULTADOS OBTIDOS COM CORREÇÕES GERADAS A CADA 90 SEGUNDOS

Distância da base (m)	SATs	EP (m)	σ_{EP} (m)	Hdop	Eh (m)	σ_{Eh} (m)	Vdop
511	7	0,490	0,063	1,00	0,227	0,056	2,20
1045	7	0,737	0,056	1,05	2,852	0,056	1,90
1515	7	0,802	0,124	1,20	0,373	0,216	1,77
2597	9	0,092	0,020	0,90	0,476	0,165	1,58
3684	8	1,076	0,037	1,10	0,458	0,060	2,00

Analisando os valores apresentados nas tabelas 01, 02, 03, 04 e 05, verifica-se que os erros em planimetria e altimetria não são degradados em função da distância. Como exemplo, na tabela 04, o erro em planimetria no ponto que dista 3684 m da estação base é menor do que o ponto que dista apenas 511 m. Caso semelhante

ocorre com o erro em altimetria, com os dados da tabela 03. Nota-se que, para esses dois casos, ocorre o inverso do esperado.

O número de satélites rastreados durante a coleta dos dados variou de 6 a 9. Quando o número de satélites rastreados foi máximo a média dos erros em planimetria atingiram os menores valores, e em alguns casos também na altimetria.

Com relação aos valores do HDOP e VDOP obtidos, pode-se dizer que eles se alteraram em função do número de satélites rastreados, e o erro em planimetria e altimetria, de uma forma geral, foram melhores para os menores valores do HDOP e VDOP, respectivamente.

A média dos erros em altitude, com exceção de 4 valores que ultrapassaram 1,00 m, mostra que os resultados proporcionados pelo método de posicionamento com o DGPS, quando utilizado em distâncias curtas, fornecem erros em altitude de ordem sub-métrica. Esta conclusão também vale para a média dos erros em planimetria, onde apenas um valor ultrapassou 1,00 m.

Com relação a variação das taxas de atualização das correções, pode-se verificar que não houve mudanças no comportamento dos erros e precisões da planimetria e altimetria, isto significa que pode ser utilizada as correções calculadas com taxas maiores do que convencionalmente é utilizado, que é de 20 segundos. Isto mostra uma das características do DGPS após a eliminação da SA. Como as variações dos erros passaram a ser lentas, o aumento da taxa de atualização tem pouca influência na qualidade dos resultados.

4. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Com os experimentos realizados, pode-se concluir que em trabalhos que abrangem pequenas áreas, a acurácia e precisão do posicionamento com o DGPS não se alteram à medida que aumenta a distância, e nem quando se altera a taxa de atualização das correções. Isto mostra que a eliminação da SA acarretou em uma lenta variação dos erros, assim os valores da taxa de atualização podem ser aumentados sem prejudicar os resultados do posicionamento com DGPS. Os melhores resultados foram obtidos quando tinha-se disponíveis mais satélites.

Deve ser salientado que essas conclusões são referentes à distâncias curtas. Assim, recomenda-se que experimentos utilizando distâncias maiores sejam realizados para avaliar o resultado do posicionamento em função da distância e da taxa de atualização das correções.

5. REFERÊNCIAS

BRIONES, A. B.; KRUEGER, C. P. Análise do posicionamento DGPS com base nas ERDGPS implantadas no litoral brasileiro. In: **CD ROOM DO XIX**

CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA, 1999, Recife, PE, 3 a 8 de outubro, 9p.

MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo NAVSTAR-GPS: Descrição, fundamentos e aplicações**. 1. ed. São Paulo: Fundação editora da UNESP, 2000. 287 p.

SAATKAMP, E. D.; KRUEGER, C. P. Introdução ao RDS e sua utilização na disseminação de correções diferenciais para o DGPS. In: **CD ROOM DO V CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO**, 2002, Florianópolis, SC, 6 a 10 de outubro, 15p.

6. AGRADECIMENTOS

Aos amigos Oludare Alexandre Olasunkanmi Akimpe e Marcelo Tomio Matsuoka, que colaboraram de forma decisiva na etapa de levantamento de dados em campo, e ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas pelo apoio financeiro.

O GRAVÍMETRO DIGITAL SCINTREX E SUA APLICAÇÃO EM LEVANTAMENTOS GRAVIMÉTRICOS DE ALTA PRECISÃO

Jair Silveira da Silva Junior¹
Sílvio Rogério Correia de Freitas²
Pedro Luis Faggion²
Guataçara dos Santos Junior³

- 1 Universidade Federal do Paraná – jrs_cart@hotmail.com
- 2 Universidade Federal do Paraná – sfreitas@ufpr.br; faggion@geoc.ufpr.br
- 3 Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná – Unidade de Ponta Grossa
- guata@pg.cefetpr.br

RESUMO

O presente trabalho tem por objetivo analisar a resposta do gravímetro digital Scintrex modelo CG-3M e sua aplicação em levantamentos gravimétricos de alta precisão quando comparado aos gravímetros analógicos Lacoste & Romberg modelo G. A utilização de um equipamento digital visa agilizar e minimizar a influência do observador no processo de observação dos dados gravimétricos. Para realizar esta análise está sendo feita a comparação de um conjunto de observações realizadas com quatro gravímetros na determinação da Rede Gravimétrica Científica do Paraná.

Palavras-chave: Gravimetria; Instrumentação Geodésica; Redes Gravimétricas; Gravímetros Analógicos; Gravímetros Digitais

ABSTRACT

This work has as main purpose to analyse the answer of the Scintrex CG-3M digital gravity meter and its use in high precision gravity surveys when compared to the Lacoste & Romberg G analogic gravity meters. The use of a digital equipment aims to minimize the observer influence in the observation process. For this analysis, it is being done the comparison of a set of observation data obtained with four gravity meters during the determination of the Parana State Scientific Gravimeter Network.

Keywords: Gravimetry; Geodetic Instrumentation; Gravity Network; Analogic Gravity Meters; Digital Gravity Meters

1. INTRODUÇÃO

1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Os gravímetros disponíveis comercialmente após a década de 40, quando surgiram os equipamentos portáteis, foram dominados por dois tipos: Worden e Lacoste & Romberg. Ambos baseiam-se no conceito da astatização que consiste em alcançar a alta sensibilidade mecânica a variações da gravidade com o sistema operando próximo ao estado de equilíbrio instável. Embora a acurácia destes equipamentos seja adequada às aplicações usuais, existem algumas deficiências tanto do ponto de vista operacional como de fabricação. Ao operador é requerido o nivelamento do aparelho, o ajuste fino da leitura rotacionando o parafuso micrométrico, efetuar e anotar as leituras manualmente, logo, existem várias fontes de erro neste processo, o que determina a necessidade de grande experiência do operador. Do ponto de vista mecânico, o alcance da astatização requer um mecanismo precisamente balanceado. Outro aspecto importante é a necessidade de calibração periódica sobre uma base de referência para evitar a ocorrência de erros sistemáticos que possam comprometer o levantamento.

1.2. O GRAVÍMETRO SCINTREX

Com o objetivo de suprir estas deficiências, a Scintrex desenvolveu um gravímetro digital capaz de atender com precisão satisfatória atividades na área de gravimetria. Sua faixa de atuação abrange todo o globo, 7000 mGal, com resolução de leitura de 0,01 mGal no modelo CG-3 e de 0,001 mGal no modelo CG-3M tendo uma deriva de 0,02 mGal/dia e uma repetibilidade melhor que 10 μ Gal. O elemento sensor deste instrumento é baseado em um sistema elástico de quartzo fundido (HUGILL, 1988).

Outras características devem ser destacadas tendo em vista sua facilidade operacional. As leituras são feitas automaticamente após o equipamento estar nivelado sobre um ponto. A operação de nivelamento é assistida por sensores de alta precisão, caso o equipamento possua inclinações acima do tolerável, a leitura não é aceita. O tempo de tomada de amostras de valores da gravidade é definido pelo operador, sendo a leitura final o valor médio das amostras acompanhado de seu respectivo desvio padrão. Ao final deste processo, a leitura é armazenada na memória do equipamento juntamente com outras variáveis: número da estação; desvio padrão da média; duração da leitura; correção devido a maré terrestre (LONGMAN, 1959); número de amostras rejeitadas e as inclinações nos eixos X e Y. O gravímetro Scintrex não possui uma tabela de conversão, suas leituras já são dadas em miligal. Um procedimento necessário neste caso é a determinação de um fator de correção da deriva instrumental. Este fator é obtido a partir da operação do

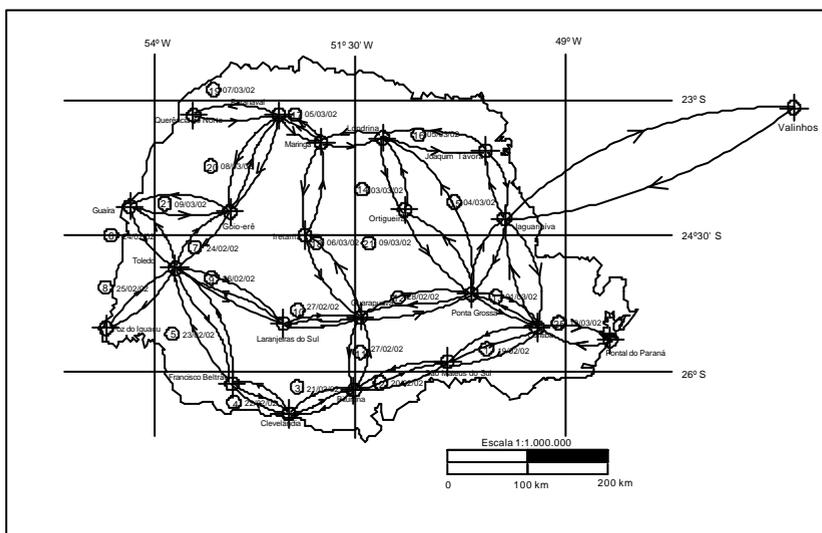
equipamento no modo cíclico por um período superior a 12 horas gerando um conjunto de dados que permitem calcular um novo valor para a deriva. Outro aspecto que deve ser verificado é a compensação da temperatura de operação do equipamento e o erro de zero dos sensores de inclinação.

Rigorosos testes de laboratório foram realizados pelo fabricante analisando a influência de fatores externos ao gravímetro. Os resultados mostram que a sensibilidade do gravímetro a variações de temperatura é menor que $0,001 \text{ mGal}/^\circ\text{C}$, a variações de pressão de $0,03 \text{ mGal}/\text{atm}$ e a máxima sensibilidade a variações no campo magnético não excede $0,00013 \text{ mGal}/\text{Gauss}$.

2. REDE GRAVIMÉTRICA CIENTÍFICA DO PARANÁ

A fim de analisar a resposta deste equipamento, um modelo CG-3M foi empregado na campanha que objetivou a determinação da Rede Gravimétrica Científica do Estado do Paraná. O levantamento incluiu outros três gravímetros Lacoste & Romberg modelo G (G 114, G143 e G 372) proporcionando um grande volume de dados permitindo não só um completo ajustamento da rede como a comparação das respostas dos diversos gravímetros utilizados. Neste projeto foram ocupadas vinte estações distribuídas por todo o estado, totalizando aproximadamente 12700 quilômetros de linhas de levantamento (FIGURA 01), incluindo a ocupação de duas estações da Rede Nacional de Estações Gravimétricas Absolutas (RENEGA), Curitiba-PR e Valinhos-SP.

FIGURA 01 – ESQUEMA DA REDE



Como o objetivo desta rede é alcançar uma precisão superior às demais redes relativas existentes no Brasil, exigiu-se grande rigor tanto na operação dos gravímetros como nas estratégias de processamento da rede.

Com o gravímetro Scintrex, foram realizadas duas séries de leituras em cada ponto, incluindo a correção de maré e sem incluí-la, cada uma com duração de 120 segundos. Isto permitiu utilizar a mesma correção de maré aplicada aos gravímetros analógicos, objetivando uma maior homogeneidade no processamento que inclui todos os instrumentos.

3. RESULTADOS OBTIDOS

Os resultados apresentados a seguir estão baseados nos dados brutos, ou seja, os desníveis gravimétricos oriundos do processamento individual das linhas levantadas, sem ajustamento. Na primeira tabela apresenta-se uma comparação das diferenças entre os desníveis dados por cada um dos gravímetros utilizados.

TABELA 01 – COMPARAÇÃO ENTRE OS QUATRO GRAVÍMETROS PARA LINHAS NÃO AJUSTADAS (microgal)

Linha	G114 G143	G114 G372	G114 STRX	G143 G372	G143 STRX	G372 STRX
1	71	223	7	152	-64	-216
2	-8	2	-27	10	-19	-29
3	19	-66	12	-85	-7	78
4	31	-19	-34	-50	-65	-15
5	17	-163	-50	-180	-67	113
6	-48	6	-65	54	-17	-71
7	-74	-28	4	46	78	32
8	-44	-54	-91	-10	-47	-37
9	-61	17	52	78	113	35
10	117	115	71	-2	-46	-44
11	25	-37	-95	-62	-120	-58
12	-24	-33	-29	-9	-5	4
13	1	0	-20	-1	-21	-20
14a	-23	-13	5	10	28	18
14b	53	20	86	-33	33	66
15a	78	-16	122	-94	44	138
15b	-189	-131	-142	58	47	-11

16	-143	-51	-209	92	-66	-158
17	-84	-35	-105	49	-21	-70
18a	24	-39	-110	-63	-134	-71
18b	75	110	107	35	32	-3
19a	65	33	-20	-32	-85	-53
19b	7	34	-6	27	-13	-40
20	307	328	197	21	-110	-131
21	43	8	-102	-35	-145	-110
22	56	-17	-161	-73	-217	-144
σ	93	99	93	69	74	82

Dentre os valores acima, os gravímetros G143 e G372 são os que mais se aproximam entre si e depois, os gravímetros G143 e Scintrex. Os dados desta tabela mostram que existe uma variação que depende tanto das condições físicas em cada estação, quanto do comportamento individual dos gravímetros em reação aos efeitos externos por eles sofridos. Levando em consideração estes aspectos, é esperado que o gravímetro digital, por assim ser e tendo uma maior precisão nominal, apresente resultados diferentes dos gravímetros analógicos. Na tabela a seguir é apresentada uma comparação entre os desníveis gravimétricos fornecidos pelos gravímetros analógicos e digital, com a diferença entre cada resposta.

TABELA 02 – COMPARAÇÃO DOS DESNÍVEIS GRAVIMÉTRICOS

Linha	Média Dg mGal LCR-G	Dg mGal SCINTREX	Diferenças mGal
1	17,083	17,174	-91
2	1,952	1,977	-25
3	6,506	6,478	28
4	21,941	21,979	-38
5	-9,558	-9,557	-1
6	2,240	2,291	-51
7	-53,685	-53,723	38
8	88,225	88,283	-58
9	-93,551	-93,618	67
10	-25,532	-25,526	-6
11	100,198	100,289	-91
12	39,385	39,395	-10

13	41,801	41,821	-20
14a	-39,819	-39,836	17
14b	-41,959	-42,022	63
15a	-66,418	-66,519	101
15b	18,068	18,103	-35
16	33,368	33,512	-144
17	29,998	30,063	-65
18a	48,437	48,542	-105
18b	-36,033	-36,078	45
19a	11,046	11,099	-53
19b	21,295	21,315	-20
20	66,778	66,793	-15
21	55,911	56,030	-119
22	210,836	211,010	-174

A próxima tabela apresenta o resultado do ajustamento realizado na Rede Gravimétrica Científica do Paraná separadamente dos gravímetros Lacoste & Romberg e Scintrex. (FREITAS et al., 2002)

TABELA 03 – COMPARAÇÃO DOS VALORES DA GRAVIDADE APÓS O AJUSTAMENTO PARA OS DIFERENTES GRAVÍMETROS (miligal)

Estação	Valor de g LCR-G	Valor de g STRX	Diferença LCR/STRX
Curitiba	978760,387	978760,387	0
São Mateus	978777,457	978777,527	-0,070
Bituruna	978779,408	978779,491	-0,083
Clevelândia	978785,913	978785,962	-0,049
F. Beltrão	978807,854	978807,937	-0,083
Toledo	978798,294	978798,362	-0,068
Guaira	978800,531	978800,656	-0,125
Goio-erê	978744,615	978744,639	-0,024
Laranjeiras	978704,741	978704,733	-0,008
Guarapuva	978679,206	978679,200	-0,006
Ponta Grossa	978718,587	978718,583	0,007
Jaguariaíva	978652,159	978652,071	0,088
J. Távora	978670,199	978670,186	0,013

Ortigueira	978678,773	978678,727	0,046
Londrina	978636,815	978636,691	0,131
Maringá	978666,809	978666,751	0,059
Iretama	978715,243	978715,284	-0,049
Paranavaí	978677,853	978677,849	0,002
Pontal	978971,223	978971,397	-0,174
Foz	978886,519	978886,659	-0,140
Querência	978699,148	978699,166	-0,018

Estes resultados, oriundos do ajustamento simultâneo dos três gravímetros analógicos e do ajustamento do digital em separado, mostram que em 50% das estações a diferença é inferior a 50 microgal e com valor máximo inferior a 200 microgal. Isto porque seria incoerente processar os dados de gravímetros de características diferentes em um mesmo ajustamento. No ajustamento dos gravímetros LCR-G a pior precisão obtida em uma estação da rede foi de 16 microgal e no ajustamento do Scintrex de 35 microgal (FREITAS et al., 2002).

Na última tabela é feita uma comparação dos desníveis obtidos com os equipamentos no circuito realizado sobre a RENEGA.

TABELA 04 – COMPARAÇÃO DOS DESNÍVEIS GRAVIMÉTRICOS NAS ESTAÇÕES DA RENEGA (miligal)

Δg Curitiba – Valinhos	196,609	diferença
G 114	197,006	-0,397
G 143	196,552	0,057
G 372	196,475	0,134
Scintrex (valores brutos)	196,705	-0,096

Estes valores indicam a necessidade de se gerar uma nova sub-tabela de conversão para os gravímetros analógicos (FAGGION et al., 2002), o que foi feito tendo em vista a qualidade desejada no ajustamento final da rede. A diferença dada pelo Scintrex foi calculada utilizando apenas uma leitura em cada estação, teste feito considerando apenas sua própria correção da deriva instrumental.

4. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

Os resultados apresentados demonstram que o gravímetro Scintrex oferece uma precisão aceitável para levantamentos gravimétricos de 1^o ordem (IBGE, 1983). A operação relativamente simples e as outras características já destacadas, permitindo

a eliminação de possíveis erros provenientes do processo de leitura dos gravímetros analógicos, constitui a principal vantagem do emprego do equipamento digital.

A realização inicial de um circuito sobre uma base de referência, associado a técnicas coerentes de levantamento e ajustamento, possibilita alcançar bons resultados com o gravímetro digital.

Os testes realizados indicam a necessidade de uma pesquisa mais profunda quanto ao tratamento da deriva instrumental neste equipamento, fator que determinou a maior parcela de discrepância entre os gravímetros analógicos e digital.

Também devem ser observadas as verificações periódicas recomendadas pelo manual do fabricante, que garantem o bom funcionamento do mesmo e o conseqüente aproveitamento da sua precisão nominal.

5. REFERÊNCIAS

FAGGION, P. L.; CORREIA, S. R. C.; GEMAEL, C.; SIMÕES, K.; SILVA JUNIOR, J. S.; SANTOS JUNIOR, G. Controle de Função de Transferência de Gravímetros a Mola: Metodologia e Resultados Obtidos na U.F.P.R.

In: **Anais do Simpósio Brasileiro de Geomática, 25 Anos do Curso de Engenharia Cartográfica da UNESP**, Presidente Prudente, SP, 2002. 8 p.

FREITAS, S. R. C.; SANTOS JR., G.; FAGGION, P. L., GEMAEL, C.; SILVA JR., J. S. SIMÕES, K. Concepção dos levantamentos gravimétricos para o estabelecimento da rede gravimétrica de alta precisão no Estado do Paraná.

In: **Anais do Simpósio Brasileiro de Geomática, 25 Anos do Curso de Engenharia Cartográfica da UNESP**, Presidente Prudente, SP, 2002. 7 p.

HUGILL, A. L.. The New Scintrex CG-3 Autograv Gravity Meter.

In: ASEG/SEG Conference, Adelaide, Australia, 1988.

Brasil. Resolução PR- n.º.22, de 21 de julho de 1983. Especificações e Normas Gerais para Levantamentos Geodésicos. **Boletim de serviço n.º 1602. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.**

LONGMAN, I. M. Formulas for Computing the tidal Accelerations Due to the Moon and the Sun. **Journal of Geophysical Research**, Los Angeles, Institute of Geophysics, University of California, , vol 64, n.º 12, p. 2351-2355, 1959.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq/Fundação Araucária Processo 520885/99-6 pelo apoio financeiro e bolsas concedidas, ao IBGE pelo empréstimo de dois gravímetros Lacoste & Romberg (G114 e G143) e ao Prof. Francisco Ferreira responsável pelo LPGA (Laboratório de Pesquisas e Geofísica Aplicada) pelo empréstimo do gravímetro Scintrex modelo CG3M.

ESTUDO DAS DISTORÇÕES DO SISTEMA DE REFERÊNCIA GEODÉSICO DA REGIÃO METROPOLITANA DO RECIFE NAS ÉPOCAS 1973 E 1998

Mestrando Paulo Roberto Carneiro de Carvalho¹
Prof. Dr^a. Andréa de Seixas²
Prof. Dr. Tarcisio Ferreira da Silva³
Prof. Dr^a. Verônica Maria Costa Romão⁴

- 1 Universidade Federal do Pernambuco – paulorcc@terra.com.br
- 2 Universidade Federal do Pernambuco – aseixas@ufpe.br
- 3 Universidade Federal do Pernambuco – tarcisiofs@yahoo.de
- 4 Universidade Federal do Pernambuco – vcosta@ufpe.br

RESUMO

Os usuários das geotecnologias de medição têm identificado distorções no sistema cartográfico da Região Metropolitana do Recife (RMR), com valores, na maioria das vezes reclamadas, muito superiores a possíveis tolerâncias atualmente em voga ou, até mesmo, com valor maior que qualquer estimativa feita por profissionais da área. Isto tem gerado dúvidas sobre a qualidade dos produtos cartográficos e/ou geodésicos, trazendo situações desagradáveis à comunidade cartográfica.

O estudo das distorções na Rede de Referência Geodésica da RMR torna-se, portanto, relevante e objetivo. Apresentando aos usuários do sistema cartográfico possíveis parâmetros de conversão que possam corrigir eventuais distorções detectadas.

No presente relato serão tratados apenas os dados oriundos dos campos de pontos cartográficos. Dos quais, os pontos fotoidentificados nas folhas das cartas (Escala 1:2.000 e 1:10.000) escolhidas serão tratados aqui como "pontos-objeto" de identificação expedita, apresentando com isso possíveis distorções entre referenciais geodésicos utilizados nas diferentes épocas de apoio de campo. Serão tratadas aqui as épocas de 1973 e 1998.

De posse das coordenadas dos pontos homólogos obtidos a partir do campo de pontos-objeto, foi executada a transformação de similaridade bidimensional segundo Helmert, obtendo-se parâmetros de conversão entre os sistemas.

Os parâmetros de transformação e as respectivas coordenadas calculadas dos pontos-objeto serão analisados neste trabalho.

Palavras-chave: Rede de Referência; Parâmetros de Distorção da Rede

ABSTRACT

The users of modern Geotechnologies have identified distortions in the cartographic system of the Metropolitan Region of Recife (MRR), with much greater values of tolerance than that actually acceptable, even greater than any estimate made by professionals of the area, so these distortions have been contested. This fact has caused doubt regarding the cartographic or geodesic product quality bringing disagreeable situation to the community.

The distortions study in the Geodesic Reference Network of MRR in the period 1973 to 1998 becomes interesting and objective, therefore, it gives to the users of cartographic system possible conversion parameters that can set right some detected distortions. The distortions parameters were obtained using the Helmert transformations applied to the field of cartographic points, involving the structures of Geodesic Reference of MRR in the considering period.

In this starting study record will be treated only the originating date from the field of photogrammetric points. The points of photogrammetric support originating from polygonometry for the making of orthophotocharts in the period from 1984 through 1998 with distinctive positional uncertainties. These photogrammetric points are here treated as expedite identification object points of possible distortions among geodesic referentials utilized in different epochs of field support (from '973 through 1998).

Possessing the two fields coordinates of homogenous points obtained starting from the cartographic system, has been done the transformations of bidimensional similarity according Helmert.

Keywords : Net of Reference; Parameters of Distortion of the Net

1. INTRODUÇÃO

O usuário das geotecnologias de medição têm identificado distorções no sistema cartográfico da RMR, com valores na maioria das vezes superiores às tolerâncias admitidas. Trazendo com isto situações desagradáveis à comunidade como um todo.

A concepção deste trabalho surge em decorrência da necessidade da determinação de possíveis distorções existentes no sistema de referência geodésico

da Região Metropolitana do Recife – RMR, com o objetivo de analisar as discrepâncias encontradas, para beneficiar, desta forma, os usuários, que desconheçam os problemas existentes dos sistemas de referência geodésicos implantados nos anos de 1973 e 1998, propiciando meios que possam eventualmente corrigir essas distorções.

As distorções do sistema de referência geodésico da RMR estão sendo estudadas estrategicamente em duas etapas. A primeira objetivará uma determinação expedita, utilizando-se de produtos cartográficos executados nas épocas de 1973 e 1998, cujos resultados parciais estarão sendo apresentados neste trabalho. A segunda etapa tratará de uma determinação precisa, utilizando-se dos segmentos da rede geodésica envolvidos, que será abordado no trabalho de dissertação de mestrado do primeiro autor.

O conceito de campo de pontos é empregado neste Trabalho. Deve-se entender como Campo de Pontos-Objeto, o espaço cartográfico e/ou cartesiano, agregado aos aspectos físicos de sua materialização e aos aspectos estocásticos das realizações das variáveis aleatórias envolvidas no processo de sua definição.

Os pontos pertencentes aos campos de pontos-objeto são aqui tratados como "pontos-objeto" de identificação expedita, apresentando com isto possíveis distorções entre referenciais geodésicos utilizados em diferentes épocas de apoio de campo fotogramétrico. A partir da seleção e manuseio de quatro pontos-objeto, todos fotoidentificáveis, calculou-se os parâmetros de transformação [KAHMEN E FAIG 1988] entre os dois sistemas de referência geodésicos das respectivas épocas distintas. Os resultados obtidos e apresentados no capítulo 3 e 4 mostrarão que os campos de pontos-objeto das duas épocas estudadas, a partir de parâmetros de transformação bem definidos, são distintos. Explicando numericamente a razão das distorções identificadas pelos usuários.

2. HISTÓRICO E LOCALIZAÇÃO DA REDE GEODÉSICA DE REFERÊNCIA DA RMR

2.1 HISTÓRIA DA REDE

A rede de referência geodésica da RMR, formou-se a partir dos pontos da Rede de Triangulação Geodésica Clássica, obtidas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Fez parte dela também:

- a rede implantada, na década de quarenta, pela 3ª Divisão de Levantamentos do Exército (3ª DL). Esta instituição está sediada na cidade de Olinda na RMR e é responsável pela execução da cartografia em grandes escalas.

-a rede implantada, na década de cinquenta, pela Prefeitura do Recife. Esta rede foi executada com o objetivo de apoio de campo às atividades fotogramétricas da carta cadastral na escala de 1:1000 conduzidas pela antiga empresa Condor.

Nos anos setenta, a Lei Complementar nº14 obrigava a criação das regiões metropolitanas. No caso de Recife a Lei nº 6.890 criou a Fundação de Desenvolvimento da Região Metropolitana do Recife (FIDEM), como órgão de apoio técnico responsável pelo planejamento e coordenação do desenvolvimento regional integrado, a fim de promover a criação e a manutenção de um sistema informacional de suporte ao planejamento e gestão do desenvolvimento metropolitano, onde se encontram as informações cartográficas e geodésicas indispensáveis aos usuários desse sistema.

O primeiro grande projeto com necessidades geodésicas foi o realizado pelo " Serviços Aerofotogramétricos Cruzeiro do Sul", obra SACS nº 291 com três Etapas A, B e C que teve como objetivo prover a RMR de uma cartografia precisa na escala 1/10.000 (ortofotocartas) e as áreas urbanas e de expansão urbana com uma cartografia mais precisa na escala 1/ 2.000 (ortofotocartas).

Com a evolução dos planos e projetos de intervenção no espaço metropolitano passou-se a requerer uma base cartográfica única mais precisa e mais confiável. Em face desta demanda, a FIDEM em 1982 firmou um convênio que criou o projeto de unificação das bases cadastrais existentes na RMR, denominado PROJETO UNIBASE. Foi implantado uma rede geodésica em conjunto com o IBGE, ligada a Rede de Triangulação clássica geodésica. As últimas intervenções realizadas na rede geodésica como um todo tem acontecido não oficialmente, portanto de maneira não controlada, normalmente utilizando-se de recepção de sinais GPS para fins os mais diversos. Podendo-se desta maneira afirmar que a atual rede tem servido para o "encontro e desencontro" de levantamentos e até mesmo de locações as mais diversas.

2.2 LOCALIZAÇÃO DA R.M.R.

A Região Metropolitana do Recife está localizada entre as coordenadas geográficas:

- latitude superior 7° 41' 09" sul e latitude inferior 8° 35' 22" sul;
- longitude lado direito 34° 48' 47" oeste e longitude lado esquerdo 35° 16' 09" oeste.

Tem como órgão gerenciador da Rede Geodésica de Referência a Fundação de Desenvolvimento Municipal - FIDEM.

3. DIAGNOSE UTILIZANDO O CAMPO DE PONTOS-OBJETO

3.1 DETERMINAÇÃO DO CAMPO DE PONTOS-OBJETO

No presente relato inicial de estudo, não se dispõe de Campos de pontos-objeto como definido no item 1. Nesse sentido, tem-se, aqui:

- pontos de apoio fotogramétricos, oriundos de poligonação topográfica, para realização de ortofotocartas nas épocas 1973 até 1975 [SACS-FIDEM];
- pontos de apoio fotogramétricos, oriundos também de poligonação topográfica, para realização de cartas preparadas nas épocas 1984 até 1986 [UNIBASE-FIDEM]; bem como
- pontos de apoio fotogramétricos oriundos, de recepção de sinais GPS, para realização de cartas feitas nas épocas 1997 até 1998. Todos estes com incertezas posicionais muito distintas [UNIBASE-FIDEM].

O campo de pontos-objeto, que é tratado neste trabalho, foi obtido de produtos cartográficas da RMR distintos:

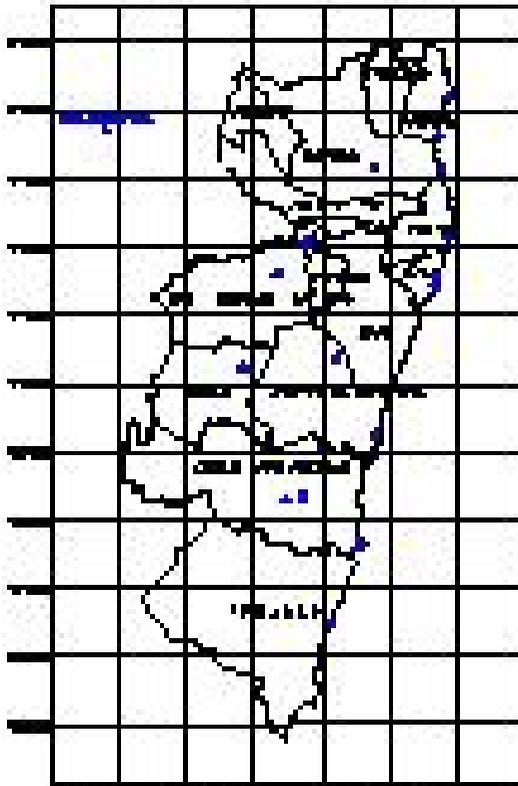
- No primeiro caso, foram utilizados 36 pontos distribuídos em 17 folhas das ortofotocartas implantadas segundo o projeto SACS-Serviços Aerofotogramétricos Cruzeiro do Sul- nº 291 etapas A, B e C (levantamento fotogramétrico planialtimétrico na escala 1/ 2.000 e 1/10.000), oriundas do Sistema de Referência Geodésico implantado nos anos de 1973 e 1975 utilizando-se o Datum Córrego Alegre (Hayford).
- No segundo caso, foram utilizados esses mesmos 36 pontos, inicialmente identificados, mas agora em 25 folhas da Carta ("Plantas Topográficas Cadastrais") originárias do Projeto Unibase, elaborado pela antiga Fundação de Desenvolvimento da Região Metropolitana do Recife (levantamento planimétrico na escala 1/1.000), referenciadas ao Sistema de Referência Geodésico implantado nos anos de 1984, 1997 e 1998, utilizando-se o Datum SAD-69.

A escolha dos pontos-objeto, deu-se segundo o critério da distribuição espacial que melhor traduzisse a área estudada e que melhor identificasse os pontos em ambos os produtos cartográficos utilizados. Para isto, procedeu-se do seguinte modo:

- a) no primeiro caso a partir das ortofotocartas de 1973 (FIGURA 1), foi adotada a técnica da digitalização em mesa digitalizadora tamanho A0 da ABNT, marca DIGICON. As coordenadas só foram aceitas quando os parâmetros de orientação dessem resultados menores que $\pm 0,2\text{mm}$, o que na escala da ortofotocarta corresponde a $\pm 0,40\text{m}$;

b) no segundo caso a partir das "plantas topográficas cadastrais" de 1998 (FIGURA 1), as quais já estavam em meio magnético. As coordenadas foram obtidas do arquivo magnético identificando-se os pontos na tela da estação gráfica clicando na entidade desejada.

FIGURA 1 LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS-OBJETO DAS CARTAS E ORTOFOTOCARTAS



3.2 - DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS DE TRANSFORMAÇÃO

De posse das coordenadas dos pontos-objeto homólogos obtidos a partir do sistema cartográfico nas duas épocas distintas, foi utilizado o modelo matemático de

transformação de coordenadas de Helmert (KAHMEN & FAIG - 1988), para adeterminação dos parâmetros de transformação (TABELA 1).

TABELA 1 - MODELO MATEMÁTICO DE HELMERT

Coordenadas do centro de gravidade	
$X_s = \sum x/n$	$Y_s = \sum y/n$
$\varepsilon_s = \sum \varepsilon/n$	$\eta_s = \sum \eta/n$
Desvios	
$\Delta X_i = X_i - X_s$	$\Delta Y_i = Y_i - Y_s$
$\Delta \varepsilon_i = \varepsilon_i - \varepsilon_s$	$\Delta \eta_i = \eta_i - \eta_s$
Parâmetros auxiliares de transformação	
$a = (\sum \Delta \eta_i \cdot \Delta y_i + \sum \Delta \varepsilon_i \cdot \Delta x_i) / (\sum \Delta \varepsilon_i^2 + \sum \Delta \eta_i^2)$	
$o = (\sum \Delta \eta_i \cdot \Delta x_i - \sum \Delta \varepsilon_i \cdot \Delta y_i) / (\sum \Delta \varepsilon_i^2 + \sum \Delta \eta_i^2)$	
Fator de escala	
$q = \sqrt{a^2 + o^2}$	
Ângulo de rotação	
$\mu = \text{arc tg } o/a$	
Centro de rotação	
$X_o = X_s - o \eta_s - a \varepsilon_s$	
$Y_o = Y_s - a \eta_s + o \varepsilon_s$	
Resíduos lineares.	
$dx_i = (X_s + a \Delta \varepsilon_i + o \Delta \eta_i) - X_i$	
$dy_i = (Y_s + o \Delta \varepsilon_i + a \Delta \eta_i) - Y_i$	

FONTE: Livro: Surveying – Kahmen & Faig 1988

O programa para execução da transformação foi desenvolvido neste trabalho na plataforma EXCEL. As coordenadas dos 36 pontos relativas aos dois sistemas cartográficos distintos estão expressos em coordenadas U.T.M. (Tabela 2).

Esses mesmos pontos foram também processados num software desenvolvido em linguagem FORTRAN-77 utilizando as mesmas fórmulas, corroborando os resultados.

TABELA 2- PONTOS-OBJETO DAS CARTAS E ORTOFOTOCARTAS

AJUSTAMENTO DAS CARTAS						
Ponto	SAD-69 (1997)		SAD-69 (1973)		RESÍDUOS	
	X (m)	Y (m)	E (m)	η (m)	Dxi (m)	Dyi (m)
6	297852,000	9131639,900	297846,870	9131644,124	0,499	2,203
2	298437,000	9142393,800	298432,870	9142398,093	1,678	2,425
3	298613,080	9142352,600	298608,458	9142357,494	1,188	3,023
4	297225,850	9136225,750	297220,123	9136226,482	-0,035	-1,210
5	297270,350	9136297,560	297264,680	9136299,065	0,024	-0,437
7	287536,000	9131360,500	287526,899	9131361,926	-3,633	-0,436
8	287774,260	9131906,324	287768,292	9131909,639	-0,487	1,457
11	298730,000	9121078,500	298722,866	9121081,153	-1,659	0,459
12	298789,471	9121495,452	298783,423	9121500,148	-0,566	2,507
13	296898,000	9114223,000	296893,870	9114225,172	1,209	-0,097
14	296819,550	9114387,290	296816,475	9114388,575	2,265	-0,980
15	296597,000	9114721,500	296590,671	9114723,071	-0,987	-0,686
16	296681,200	9114927,290	296678,004	9114930,076	2,151	0,531
17	296530,080	9115099,060	296523,979	9115100,875	-0,754	-0,435
18	296906,140	9115151,700	296900,609	9115154,374	-0,177	0,419
19	277172,630	9120315,065	277165,238	9120314,934	-2,255	-1,996
20	277314,400	9120255,800	277308,725	9120255,159	-0,536	-2,509
21	277349,930	9120640,540	277343,704	9120640,645	-1,081	-1,758
22	277845,300	9120530,590	277841,440	9120530,067	1,291	-2,395
24	273900,392	9116431,414	273895,740	9116433,638	0,375	0,352
25	273458,579	9116415,037	273454,284	9116416,525	0,725	-0,377
26	282179,060	9103361,060	282172,729	9103363,300	-1,386	0,040
28	282190,487	9103913,307	282184,089	9103916,509	-1,444	1,010
29	282352,530	9103664,960	282342,909	9103669,242	-4,669	2,084
31	287858,440	9092352,700	287853,892	9092354,234	0,309	-0,922
32	287925,000	9092686,800	287920,892	9092688,233	0,755	-1,019
33	268385,200	9102486,600	268382,463	9102489,117	1,986	0,522
34	268448,780	9102517,630	268446,717	9102520,335	2,661	0,709
35	268531,000	9102168,600	268528,947	9102171,210	2,667	0,608
36	274772,237	9083329,949	274768,029	9083333,056	0,308	0,722
37	274789,596	9083259,716	274785,056	9083262,662	-0,024	0,559
38	277193,140	9083493,640	277189,088	9083496,256	0,504	0,195
39	277138,030	9083665,440	277133,201	9083669,185	-0,272	1,327
41	285449,730	9076378,020	285446,613	9076377,642	1,451	-3,037
42	281362,357	9064681,833	281356,993	9064682,587	-1,043	-2,017
43	281524,074	9064669,987	281518,719	9064671,912	-1,032	-0,849
				SOMA =	1,788	-9,902
MÉDIA	285550,024	9109457,748	285544,932	9109459,909		
Número de pontos	36					

4. PARÂMETROS OBTIDOS

Os resultados obtidos mostraram que o campo de pontos-objeto estudados nos dois sistemas cartográficos são distintos.

Os parâmetros de transformação obtidos foram:

- rotação de 3",
- fator de escala $m = 1,00009996$
- translação de $\Delta X = 5,092\text{m}$ e $\Delta Y = -2,161\text{m}$

5. CONCLUSÃO

A estratégia de se utilizar a transformação de similaridade, usando-se o campo de pontos cartográficos como forma expedita de determinação das distorções no sistema de referência geodésico da RMR nas épocas de 1973 e 1998, é parcialmente colocada neste presente trabalho apresentando resultados expressos na forma de parâmetros possíveis de serem utilizados pelos usuários do sistema cartográfico, como meio de contornar as distorções do sistema de referência então reclamadas.

A segunda etapa do trabalho, a análise precisa de distorções está em fase de execução a qual será apresentada em breve na forma de dissertação de mestrado do curso de Pós-Graduação em Geociências e Tecnologias da Geoinformação da UFPE.

6. REFERÊNCIAS

- Associação Brasileira de Normas Técnicas –ABNT NBR – 13.133 Execução de Levantamentos Topográficos;
- Manual Técnico de Aerotriangulação da Divisão do Serviço Geográfico do Exército – DSG número T34-304
- Pontos Geodésicos de Apoio Fundamental Vol-6 IBGE 1987 – RJ
- Surveying / Heribert Kahmen : Wolfgang Faig; Berlim : New York : de Gruyter. 1988

7. AGRADECIMENTOS

A minha família que eu amo tanto;

A todos os mestres e doutores da UFPE lotados no Decart que estimularam a realização desse trabalho

Agradecimento em especial aos meus professores orientadores

Aos amigos e colegas mestrados

DESNÍVEIS DE PRIMEIRA ORDEM COM ESTAÇÃO TOTAL

Pedro Luis Faggion¹
Luis Augusto Koenig Veiga²
Silvio Rogério Correia de Freitas³
Daniel Perozzo dos Santos⁴

- 1 Universidade Federal do Paraná – faggion@geoc.ufpr.br
- 2 Universidade Federal do Paraná – kngveiga@geoc.ufpr.br
- 3 Universidade Federal do Paraná – sfreitas@cce.ufpr.br
- 4 Universidade Federal do Paraná – danielperozzo@hotmail.com

RESUMO

Atualmente existem vários métodos e técnicas para a determinação de desníveis. Porém, quando se trata de desníveis de primeira ordem com precisão melhor que $3\text{mm}\sqrt{K}$, conforme a resolução PR nº 22 do IBGE, a única metodologia utilizada é o nivelamento geométrico de primeira ordem, método de visadas iguais. Tal metodologia, é de grande precisão porém onerosa e de baixo rendimento. A alternativa que está sendo proposta neste trabalho baseia-se no emprego do nivelamento trigonométrico, utilizando o método de visadas iguais objetivando com isso minimizar os efeitos provocados pelas principais fontes de erro inerentes ao método, que são: medida da altura do instrumento, da altura do sinal, do ângulo vertical, refração atmosférica e curvatura da terra. O resultado que está se buscando é atingir precisão de primeira ordem com alto rendimento e baixo custo.

Palavras-chave: Desníveis de precisão, Nivelamento Geométrico e Trigonométrico

ABSTRACT

Currently some methods and techniques for geodetic leveling exist. However, when height differences better than $3\text{mm}\sqrt{K}$ precision according the standards of the resolution PR in the 22 of the IBGE, the only used methodology are the first-class spirit levelling, method with equal distances to the rods. Such methodology, is very precise however onerous and with low productivity. The alternative proposed in this work, is based on the job of the trigonometrical levelling, using equal distance method objectifying with this to minimize the effect provoked for the main inherent sources of error to the method, that are: measure of the height of the instrument, the

height of the signal, of the vertical angle, atmospheric refraction and bending of the land. The result expected isto reach first-class precision with high income and low cost.

Keywords: Unevennesses of precision, Geometric and Trigonometrical Levelling

1. INTRODUÇÃO

A determinação de desníveis com precisão aliado ao baixo custo e alto rendimento, tem se mostrado um grande desafio para a comunidade científica internacional. Atualmente, o método oficialmente utilizado pelos órgãos responsáveis pela implantação das redes nacionais de primeira ordem é o nivelamento geométrico método de visadas iguais. Este método porém, é lento e consequentemente oneroso.

As alternativas que vem sendo estudadas baseiam-se nos métodos indiretos, entre eles a utilização do GPS, que permite determinar com precisão desníveis para distâncias curtas, que quando se fala em altitude, esbarra na necessidade do conhecimento do geoide. Já o nivelamento trigonométrico, da forma que está sendo proposto neste trabalho, atinge a precisão requerida com alto rendimento e baixo custo.

2. METODOLOGIA APLICADA

2.1. MÉTODO INDIRETO

Um dos métodos indiretos mais utilizados para determinação do desnível é o nivelamento trigonométrico, porém com o inconveniente medida da altura do instrumento e do refletor, tendo em vista que os dispositivos disponíveis (trenas) garantem apenas a precisão do centímetro. Os efeitos da incerteza na determinação destes elementos inviabilizam a utilização desta metodologia para trabalhos de primeira ordem.

Para minimizar, porque não dizer eliminar estes efeitos, estão sendo propostas adaptações na metodologia tradicional, de tal forma que a determinação de desníveis utilizando esta técnica passa a ter uma participação importante nos levantamentos de primeira ordem, quando conduzido da seguinte forma:

Instalar sobre as RRNN, as quais se deseja determinar o desnível dois bipés, de mesma altura. Estes sustentarão os refletores que farão a devolução do sinal de medida da distância entre emissor e refletor e servirão também como alvo para a medida da distância zenital.

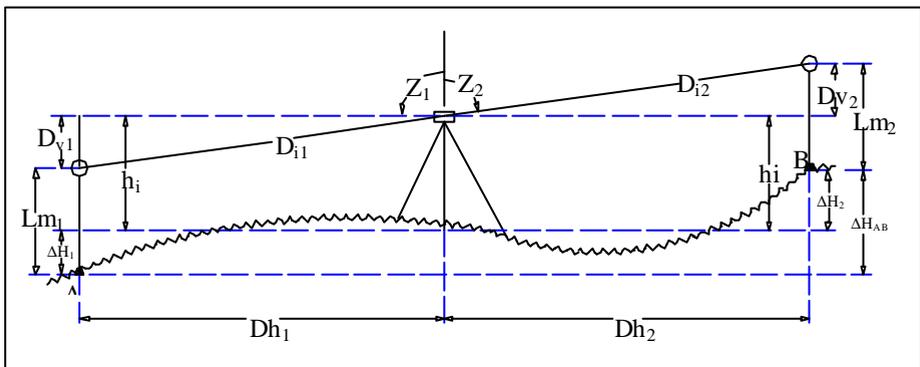
A estação total, ao invés de colocá-la sobre uma das Referências de Nível, será instalada em qualquer posição que seja possível visualizar os dois refletores posicionados em ré e vante. Atuando desta forma, será possível determinar o desnível entre os alvos sem considerar a altura do refletor (se os mesmos tiverem a mesma altura) e do instrumento, uma vez que a estação é mantida na mesma posição para determinar o desnível de ré e de vante.

Porém se a estação total for instalada no centro do lance será possível também minimizar os efeitos da curvatura da terra, refração atmosférica e das condições ambientais (temperatura, umidade e pressão atmosférica), uma vez que estes efeitos tem o mesmo comportamento para a visada de ré e de vante quando as diferenças das visadas não ultrapassa 3m.

Mesmo considerando este aspecto, neste trabalho será abordado as diferentes formas para a aplicação da correção das condições ambientais na determinação da distância.

A dedução matemática para o cálculo do desnível aplicando esta tecnologia é apresentada a seguir. A figura 01 apresenta os elementos envolvidos nesta dedução.

FIGURA 01 - NIVELAMENTO TRIGONOMÉTRICO MÉTODO DE VISADAS IGUAIS



Onde:

- D_{v1} = Distância vertical em A;
- D_{v2} = Distância vertical em B;
- ΔH_1 = Desnível entre a Estação e o ponto A;
- ΔH_2 = Desnível entre a Estação e o ponto B;
- ΔH_{AB} = Desnível entre o ponto A e o ponto B;
- L_{mi} = Altura do sinal;
- D_i = Distância inclinada entre a estação e o refletor;
- D_{hi} = Distância horizontal entre a estação e o refletor

h_i = Altura do instrumento

Z_i = Distância zenital

Com o objetivo de determinar o desnível entre a estação total e a Referência de Nível identificada como A, realizou-se a somatória dos parâmetros envolvidos na determinação do desnível em A (altura do sinal e distância vertical em A), e igualou-os a somatória dos parâmetros junto a estação total (altura do instrumento e desnível entre a RN A e a estação total)

$$h_i + \Delta H_1 = L_{m1} + D_{v1} \quad (01)$$

$$\Delta H_1 = L_{m1} + D_{v1} - h_i \quad (02)$$

Da mesma forma, agora determina-se o desnível entre a estação total e a RN identificada como B.

$$h_i + D_{v2} = L_{m2} + \Delta H_2 \quad (03)$$

$$\Delta H_2 = h_i + D_{v2} - L_{m2} \quad (04)$$

Como pode ser visto através da figura 01, o desnível entre a RN A e a RN B consiste na somatória dos desníveis parciais.

$$\Delta H_{AB} = \Delta H_1 + \Delta H_2 \quad (05)$$

Substituindo a equação 02 e 04 na equação 05 e simplificando os termos iguais, em função das condições impostas, Obtêm-se:

$$\Delta H_{AB} = (\cancel{L_{m1}} + \cancel{D_{v1}} - \cancel{h_i}) + (\cancel{h_i} + \cancel{D_{v2}} - \cancel{L_{m2}})$$

$$\Delta H_{AB} = D_{v1} + D_{v2} \quad (06)$$

onde:

$$D_{v1} = D_{i1} \cdot \cos Z_1 \quad (07)$$

$$D_{v2} = D_{i2} \cdot \cos Z_2 \quad (08)$$

Pode ser visto com as equações 07 e 08, que as únicas observações a influenciar na determinação do desnível, passam a ser a distância inclinada entre a estação e o refletor, e a distância zenital.

3. OBTENÇÃO DAS DISTÂNCIAS INCLINADAS E ZENITAIS

Com o objetivo de se efetuar um estudo rigoroso sobre a metodologia que está sendo proposta, realizou-se diversos levantamentos com diferentes equipamentos e condições, tanto para a determinação da distância linear como para a determinação da distância zenital. Porém, independente da precisão nominal do instrumento, é extremamente importante aplicar as correções, que serão vistas a seguir, nas medições realizadas no campo.

3.1. CORREÇÕES AMBIENTAIS

A velocidade de propagação da luz no vácuo é uma constante fundamental cujo valor é bem determinado por procedimentos físicos. Porém, em trabalhos de campo o que interessa é a velocidade de propagação no meio. Para realizar esta transformação, o fabricante determina fatores de conversão em laboratório em função de parâmetros ambientais. Assim são necessárias as medidas de temperatura, umidade relativa do ar e pressão atmosférica no momento das observações, e com estes valores realizar a correção particular para o local de operação.

As variações nas condições atmosféricas produzem alterações na velocidade de propagação da onda eletromagnética e provocam, conseqüentemente, variações sistemáticas nas medidas da distância, as quais podem ser encaradas como erros sistemáticos. A maioria das estações totais permite a aplicação desta correção em tempo real, obtendo este valor de várias maneiras, a saber: (RÜEGER, 1996; FAGGION,2001):

- a) utilizando o ábaco que acompanha o manual do equipamento. Neste caso as informações necessárias para a determinação da correção, em ppm (parte por milhão), são a temperatura e a pressão;
- b) utilizando as fórmulas que acompanham o manual do equipamento. No presente estudo, uma Estação Total Leica TC2002 disponível no LAIG. Além dos parâmetros citados no item anterior é necessária também à umidade relativa do ar;
- c) utilizando as fórmulas adotadas pela UGGI (os mesmos parâmetros do item anterior).
- d) utilizando as fórmulas apresentadas por RÜEGER (1996, p.80). Estas equações são recomendadas para a redução de medições obtidas em levantamentos de alta precisão.

Testes realizados com um conjunto de observações de distâncias medidas sobre a base da fazenda Experimental Cangüiri da Universidade Federal do Paraná demonstraram que as diferenças só são significativas quando as correções determinadas com o ábaco são comparadas com um dos outros três conjuntos de fórmulas (b,c ou d) estudados. A diferença entre os valores das correções obtidas com os três conjuntos de fórmulas está na casa do centésimo do milímetro. Tendo em vista este aspecto optou-se pela utilização do formulário constante no manual do equipamento (por ex: WILD TC2002, 1994, p.24-9):

$$\Delta D_1 = 281,8 \left[\frac{0,29065 \cdot P}{(1+a \cdot t)} - \frac{4,126 \cdot 10^{-4} \cdot h}{(1+a \cdot t)} \cdot 10^x \right] \quad (09)$$

onde:

ΔD_1 = Correção Atmosférica em ppm

P = Pressão Atmosférica (mb)

t = Temperatura Ambiente (°C)

h = Umidade Relativa (%)

$\alpha = 1/273,16$

$$x = \frac{7,5t}{237,3 + t} + 0,7857 \quad (10)$$

3.2. CURVATURA DA TERRA E REFRAÇÃO ATMOSFÉRICA.

Tendo em vista que a distância de ré pode ser diferente da distância de vante, como no item anterior, é necessário determinar-se a influência da curvatura e refração para as distâncias de ré e de vante, utilizando a seguinte equação (GEMAE, 1987):

$$c = \frac{D^2}{2R} (1-k) \quad (11)$$

onde:

C = Correção da curvatura e refração atmosférica

D = Distância reduzida ao horizonte

R = Raio médio da terra $\cong 6400$ km

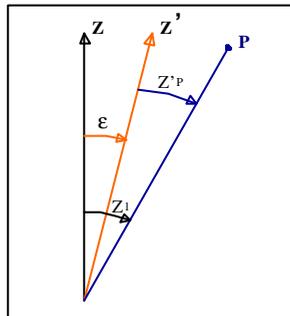
K = coeficiente de refração. É variável para cada região, para cada época do ano e para cada hora do dia. Todavia devido as dificuldades na sua determinação, no Brasil adota-se o valor médio de 0,13.

3.3. MEDIDA DAS DISTÂNCIAS ZENITAIS

Na medida da distância zenital não é necessário aplicar nenhum tipo de correção, porém é extremamente importante a realização das observações em posição direta e invertida da luneta para minimizar os efeitos do erro de zenite instrumental. Uma possibilidade de evitar a influência deste erro é determiná-lo para uma posterior aplicação em todas as medições da distância zenital realizadas somente na posição direta da luneta.

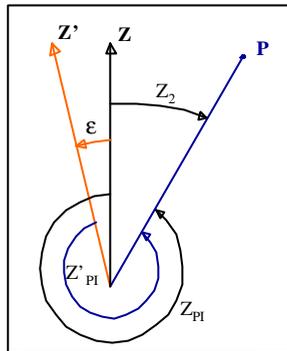
A determinação do erro de zênite pode ser efetuada em laboratório ou no campo, procedendo-se da seguinte maneira:

FIGURA 02 – MEDIDA DA DISTÂNCIA ZENITAL COM O TEODOLITO EM POSIÇÃO DIRETA (PD)



$$Z_{PD} = Z_1 = Z'_{PD} + \epsilon \quad (12)$$

FIGURA 03 - MEDIDA DA DISTÂNCIA ZENITAL COM O TEODOLITO EM POSIÇÃO INVERTIDA (PI)



$$Z_{PI} = Z_2 = 360^\circ - Z'_{PI} - \varepsilon \quad (13)$$

Para obter o erro de zênite instrumental basta subtrair a equação 12 da equação 13.

$$\varepsilon = \frac{360^\circ - Z'_{PI} - Z'_{PD}}{2} \quad (14)$$

Já para a determinação da distância zenital isenta do erro, soma-se as equações 11 e 12.

$$Z = \frac{Z'_{PD} - Z'_{PI}}{2} + 180^\circ \quad (15)$$

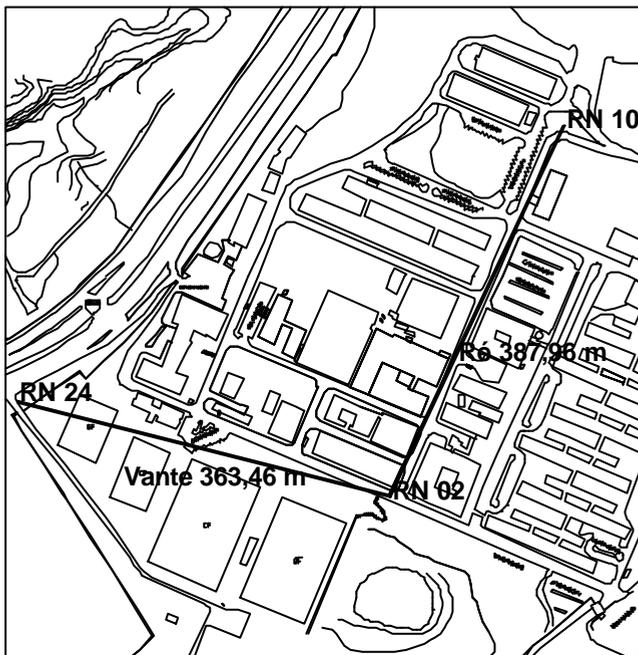
4. TESTES REALIZADOS COM OS DIFERENTES EQUIPAMENTOS

4.1. ESTAÇÃO TOTAL TC2002-LEICA

Este equipamento tem precisão nominal de (1mm + 1ppm), na medida da distância e 0,5" na medida de ângulos. Atualmente é um dos equipamentos mais precisos do mercado.

O primeiro teste realizado com este equipamento, aplicando a metodologia descrita no item 2, foi no campus III da Universidade Federal do Paraná, tendo em vista que nesse local foi implantada uma rede altimétrica científica em que os desníveis foram determinados com precisão melhor que $1\text{mm}\sqrt{k}$ (k =média da distância nivelada e contra-nivelada) (DE FREITAS et al., 1996; MEDEIROS,1999).

FIGURA 04 –ÁREA TESTE NO CENTRO POLITÉCNICO



O objetivo deste levantamento foi testar o comportamento do método dentro do Campus III da UFPR, e também com diferenças, embora pequenas, entre as distâncias de ré e vante, conforme a figura 4.

As altitudes das Referências de Nível 10 e 24 obtidas com nivelamento geométrico de primeira ordem são de 908,5074m e 895,1563m respectivamente (MEDEIROS,1999; DE FREITAS, et al. 1996) . Logo o desnível da RN10 para a RN24 é de -13,3511m.

Já com a estação total os resultados são apresentados no quadro 01. Cabe ressaltar que as observações citadas são a média de quatro séries completas.

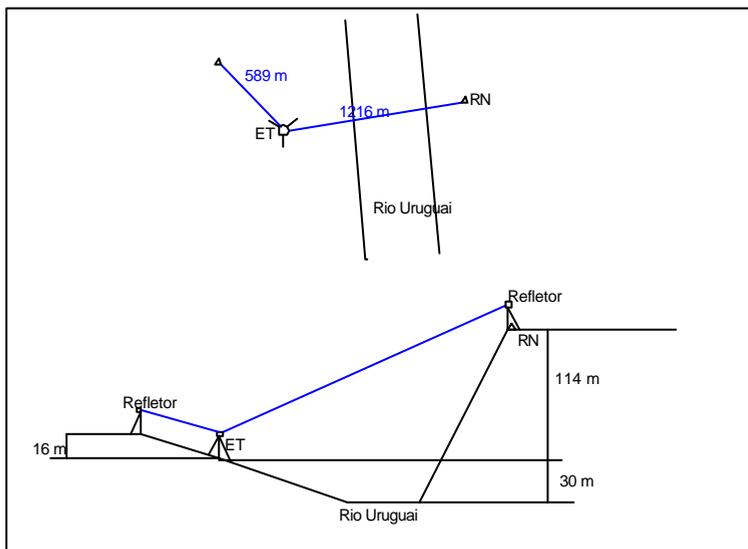
QUADRO 01 – RESULTADOS OBTIDOS COM A ESTAÇÃO TOTAL TC 2002

	D _i Média (m)	Corr. Atm. (ppm)	D _i Corr. (m)	Z	DV (m)	Cor. Cur. (mm)	DV Cor. (m)
Ré	388,0068	35,4733	387,9930	90° 47' 50,4"	-5,3992	10,229	-5,3890
Vante	363,9555	34,4199	363,9429	92° 57' 09,1"	-18,7461	8,978	-18,7372
$\Delta h_{10-24} = \text{Vante} - \text{Ré} = -18,7372 - (-5,3890) \Rightarrow \Delta h_{10-24} = -13,3482 \text{ m}$							

Comparando a diferença entre os desníveis obtidos pelos dois métodos, chega-se a 2,9mm. Considerando que a distância entre as RRNN é de 751,42m e que o tolerância para levantamentos de primeira ordem é de $(4\text{mm}\sqrt{k})$ o erro permitido é de 3,47mm, logo acima da diferença encontrada.

O segundo teste com este equipamento, foi realizado objetivando o transporte da altitude da margem direita para a margem esquerda do rio Uruguai, na região do foz do rio Chapecó conforme a figura 05. Este transporte foi realizado como apoio a um levantamento batimétrico realizado na região.

FIGURA 05 - TRANSPORTE DE ALTITUDE NA REGIÃO DO RIO URUGUAI



Como pode ser visto através da figura 05, a distância nivelada é de aproximadamente 1800m com uma travessia de rio na visada de vante. Este trabalho foi realizado em aproximadamente 3 horas, com um operador e um auxiliar.

Este mesmo transporte utilizando Nivelamento Geométrico de primeira ordem envolveria um operador e três auxiliares e o tempo necessário seria de aproximadamente 10 dias, tendo em vista as dificuldades da realização da travessia do rio e a situação desfavorável do terreno, uma vez que o mesmo tem aproximadamente 400m de largura no local em que foi realiza o trabalho.

Após a aplicação das correções citadas no item 3, apresenta-se a média da distância vertical obtida a partir de um conjunto de três séries completas de observação para a posição em ré e vante.

QUADRO 2 – DISTÂNCIAS VERTICAIS OBTIDAS EM RÉ E VANTE

Leituras em Ré	Leituras em Vante
$D_{V1} = 16,2640\text{m}$ (ré)	$D_{V2} = 114,6377\text{m}$ (vante)
$D_{V1} = 16,2656\text{m}$ (ré)	$D_{V2} = 114,6387\text{m}$ (vante)

$$\Delta h_1 = 114,6377 - 16,2640 \Rightarrow \Delta h_1 = 98,3737 \text{ m (nivelamento)}$$

$$\Delta h_2 = 114,6387 - 16,2656 \Rightarrow \Delta h_2 = 98,3731\text{m (contra-nivelamento)}$$

Cálculo do erro permitido

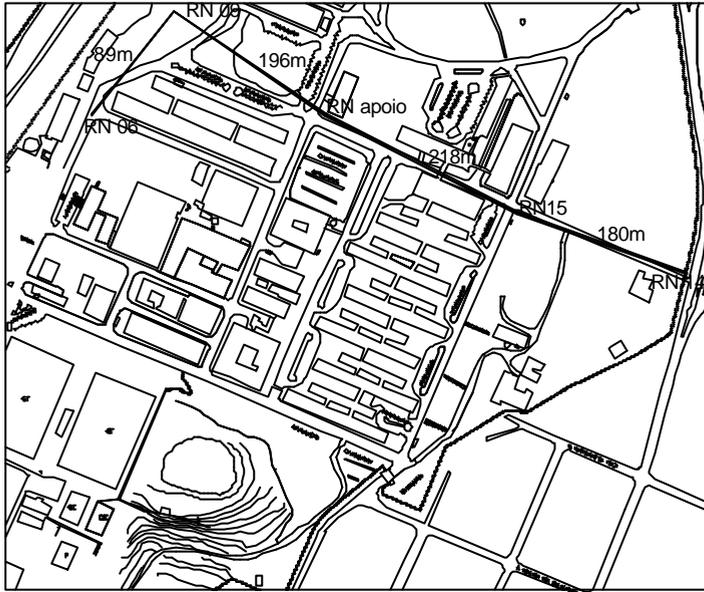
$$E_p = 4 \text{ mm} \sqrt{k} \Rightarrow E_p = 5,37 \text{ mm}$$

$$E_c = \Delta h_1 - \Delta h_2 \Rightarrow E_c = 0,0006\text{m} = 0.6\text{mm}$$

4.2. ESTAÇÕES TOTAIS TC600 E TC605

As estações totais TC600 e TC605 tem precisão nominal de (3mm +2ppm), para a medida da distância e de 05" na medida de ângulos. Os testes realizados com estes equipamentos também utilizaram como base outros segmentos da rede científica implantada do Centro Politécnico, figura 06.

FIGURA 06 – SEGUNDA ÁREA TESTE DO CENTRO POLITÉCNICO



QUADRO 3- DESNÍVEIS COM TC600 E COM TC605

SEÇÃO	DESNÍVEL TC 600 (m)	DESNÍVEIS N. G. (m)	DIFERENÇAS N. G. – TC600 (mm)	DESNÍVEL TC 605 (m)	DIFERENÇAS N. G. – TC600 (mm)
RN 6-9	0,2647	0,2632	1,5	0,2640	0,8
RN 9-10	1,6812	1,6795	1,7	1,6805	1,0
RN 10-15	2,5130	2,5121	0,9	2,5132	1,1
RN 15-14	9,4712	9,4705	0,7	9,4710	0,2

Os resultados mostrados no quadro 03 indicam, para todos os casos, que a diferença entre os métodos está abaixo da tolerância para primeira ordem.

5. CONCLUSÕES

Os testes realizados apresentam excelente resultado quando comparado com nivelamento geométrico de primeira ordem. Outro aspecto extremamente relevante é a questão do baixo tempo envolvido e baixo custo.

Como sugestão indica-se a necessidade de continuar com a pesquisa utilizando de equipamentos de menor precisão, disponíveis na maioria das empresas que prestam serviços de Topografia e Geodésia, visando obter os limites para os lances objetivando atender precisão requerida.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DE FREITAS, S. R. C.; MEDEIROS, Z. F. ; FAGGION, P. L.; JOHANSSON,A.; GONCHO,G. & MIRANDA,J.M.P. **Otimização dos levantamentos altimétricos de precisão.** In: Congresso Técnico-Científico de Engenharia Civil, Florianópolis, 21-23 abril, Anais, v3, 1996 , pp.: 479-488.

MEDEIROS, Z. F. **Considerações sobre a metodologia de levantamentos altimétricos de alta precisão e propostas para sua implementação.** Curitiba, 1999. 141p. Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas. Universidade Federal do Paraná.

FAGGION, P. L. **Obtenção dos Elementos de Calibração e Certificação de Medidores Eletrônicos de Distância em Campo e Laboratório.** Curitiba, 2001. 134 p. Tese de Doutorado apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas. Universidade Federal do Paraná.

GEMAEL, C. **Introdução a Geodésia Geométrica – Primeira parte** Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas UFPR,1987.

RÜEGER, J. M. **Electronic Distance Measurement.** 3th ed., Berlin: Springer-Verlag, 1996. 266p.

WILD TC2002. **User manual.** Heerbrugg, Suíza,1994.

CONTROLE INSTRUMENTAL, UM TEMA NÃO PONDERADO NA INSTRUMENTAÇÃO GEODÉSICA: ESTUDO DE UM CASO

Luis Augusto Koenig Veiga¹
Pedro Luis Faggion²
Silvio Rogério Correia de Freitas³
Daniel Perozzo dos Santos⁴

- 1 Universidade Federal do Paraná – kngveiga@geoc.ufpr.br
- 2 Universidade Federal do Paraná – faggion@geoc.ufpr.br
- 3 Universidade Federal do Paraná – sfreitas@cce.ufpr.br
- 4 Universidade Federal do Paraná - danielperozzo@hotmail.com

RESUMO

O controle instrumental é um tema ainda pouco explorado no Brasil. Porém é crescente, em diversas atividades nas quais os dados são obtidos através da utilização de instrumentos geodésicos e topográficos, a exigência da verificação, classificação e calibração deste equipamento. Este trabalho apresenta esta questão ilustrando o problema através de um exemplo da influência do erro de colimação em níveis ópticos mecânicos na determinação de desníveis utilizando o nivelamento geométrico método das visadas extremas.

Palavras-chave: Verificação, Calibração, Instrumentos Geodésicos.

ABSTRACT

The instrumental control is a theme still little explored in Brazil. However it's growing the demand for verification, classification and calibration of geodetic and topographic instruments applied for data collecting in the field. This work presents this subject illustrating the problem through an example that shows the influence of the collimation error in optical levels used in the determination of differences in elevation using the series leveling method.

Keywords: Verification, Calibration, Geodetic Instruments.

1. INTRODUÇÃO

A aplicação de instrumentos geodésicos e topográficos na engenharia é ampla. Locações de obras, determinações de desníveis de precisão e monitoramento de grandes estruturas são apenas alguns exemplos. Medições de qualidade somente podem ser obtidas com equipamentos que atendam determinados critérios de operação e precisão. O uso contínuo e extensivo dos equipamentos, longos períodos de armazenamento, transporte, operação inadequada, entre outros, podem provocar alguns erros instrumentais, os quais influenciarão os resultados do levantamento. Desta forma é necessária a verificação, calibração e classificação periódica destes instrumentos. Porém esta cultura ainda está longe de ser uma regra. Para ilustrar esta questão é apresentado neste trabalho um exemplo da influência do erro de colimação em níveis ópticos mecânicos na determinação de desníveis utilizando o método de nivelamento geométrico por visadas extremas.

Muitas vezes determinados erros instrumentais podem ser evitados através de uma verificação do equipamento em campo e ou laboratório, e posterior retificação, ou utilizando determinadas técnicas de observação durante a coleta dos dados em campo, as quais permitem minimizar ou mesmo eliminar certos tipos de erros. Por exemplo, a realização de uma medição em pontaria direta e inversa da luneta permite eliminar o erro de colimação, zênite e excentricidade do limbo horizontal e vertical. Diversos modelos de equipamentos digitais atualmente disponíveis, permitem determinar o valor de alguns erros instrumentais, como o erro de colimação e índice vertical, os quais podem ser armazenados na memória e utilizados para a correção das observações obtidas.

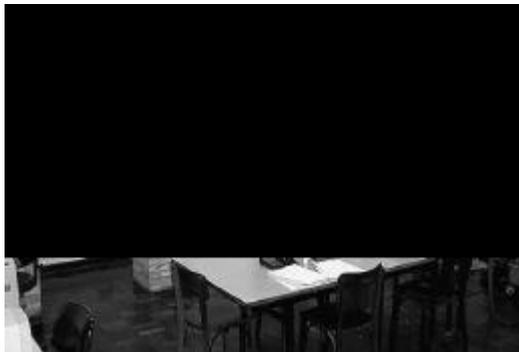
Para teodolitos podem ser verificados em campo, através de procedimentos relativamente simples, a questão da verticalidade do eixo principal, da perpendicularidade entre a linha de visada e o eixo secundário (erro de colimação), perpendicularidade entre o eixo principal e o secundário, verificação do prumo óptico e erro de zênite instrumental. Para os níveis, verticalidade do eixo principal e paralelismo entre a linha de visada e o eixo do nível tubular.

Para medidores eletrônicos de distância, há a necessidade da determinação do erro de zero, fator de escala e componentes do erro cíclico. Uma descrição mais detalhada destes erros podem ser encontradas em FAGGION(2001), MEDINA (1998), FAGGION (1993) e ESPARTEL (1987). No caso específico dos medidores eletrônicos de distância é necessário a infra-estrutura de laboratório e ou campos de teste para a realização das referidas determinações. Neste último caso, o problema esta no número reduzido de instituições aptas a realizar estas determinações. Cabe salientar que a NBR 13133 define que os medidores eletrônicos de distância devem ser calibrados, no máximo, a cada dois anos, através de testes realizados em entidades oficiais e/ou universidades, sob base multipilares, de concreto, estáveis, com centragem forçada e com expedição de certificado de calibração.

Adicionalmente, a NBR 13133 estabelece a necessidade da classificação dos equipamentos. Porém, antes de realizar a calibração há a necessidade de fazer-se a verificação e se necessário a retificação do equipamento. De acordo com a norma, esta verificação deve ser efetuada por entidades oficiais e/ou universidades, em bases apropriadas para posterior classificação.

O Laboratório de Instrumentação Geodésica da Universidade Federal do Paraná (LAIG) tem-se destacado nesta área. De acordo com FREITAS & FAGGION (1998), o laboratório montado nas dependências da UFPR tem capacidade para atuar na área de calibração e certificação de miras verticais, no estudo do coeficiente de dilatação linear de materiais (Utilizando interferômetro LASER com precisão nominal na casa do milésimo do milímetro – figura 1), na verificação/retificação de níveis ópticos-mecânicos, automáticos e teodolitos (utilizando colimador montado em pilar com sistema de centragem forçada), na calibração de medidores eletrônicos de distâncias, individuais ou associados a uma estação total), na classificação de níveis, teodolitos, estações totais (de acordo com a NBR13133), na calibração de instrumentos que determinam parâmetros ambientes tais como pressão, temperatura e umidade relativa do ar e na calibração estática e dinâmica de gravímetros (Utilizando a RENEGA – Rede Nacional de Estações de Gravidade Absoluta) e estações de maré terrestre.

FIGURA 1 – INTERFERÔMETRO LASER DO LAIG.



2. TERMINOLOGIA

Ainda hoje existe muita confusão com relação ao termos verificação, calibração e retificação. É importante o correto entendimento deste termos para saber exatamente o que é aplicável em determinadas situações. Por exemplo, não existe sentido dizer que um distanciômetro que apresenta um erro de zero igual a 4mm será retificado, uma vez que não se pode atuar no equipamento para eliminar este erro. O

mesmo deverá ser determinado através de técnicas de calibração e posteriormente as medições obtidas deverão ser corrigidas deste erro.

A seguir são apresentadas algumas definições importantes que podem contribuir para a compreensão do tema abordado, como também para aprofundar a discussão da terminologia aplicada em instrumentação e metrologia no contexto deste estudo. Estas definições foram obtidas em FAGGION (2001).

Verificação - Conjunto de operações, compreendendo o exame, a marcação ou selagem (ou) emissão de um certificado e que constate que o instrumento de medir ou medida materializada satisfaz às exigências regulamentares.

Calibração - Conjunto de operações que estabelece, em condições especiais, a correspondência entre o estímulo e a resposta de um instrumento de medir, sistema de medir ou mostrador de medição. Algumas observações devem ser feitas:

a) O resultado de uma calibração pode permitir a determinação de um ou mais parâmetros da curva característica que relaciona o estímulo a resposta ou os valores das grandezas correspondentes às divisões de escalas identificadas de um instrumento de medir.

b) Os termos *“Aferição”* e *“Calibração”* estão reunidos nos termos *“étalonnage”* em francês, e *Calibration* em inglês.

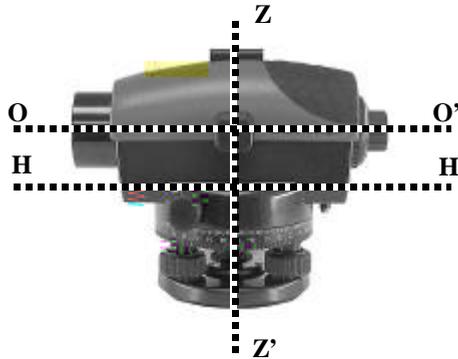
Classificar - consiste em distribuir em classes ou grupos segundo um sistema de classificação. A norma brasileira NBR13133 (Execução de levantamentos topográficos), define as classes que devem ser enquadrados o instrumento baseado no desvio padrão de um conjunto de observações obtidas seguindo uma metodologia própria (NBR13133,1994).

Retificação - Conjunto de operações, realizadas em um equipamento, utilizando os parafusos de retificação para corrigir o erro determinado no processo de verificação. O objetivo da retificação é fazer com que o equipamento volte a operar dentro de sua prescrição nominal.

3. INFLUÊNCIA DO ERRO DE COLIMAÇÃO NO NIVELAMENTO GEOMÉTRICO POR VISADAS EXTREMAS

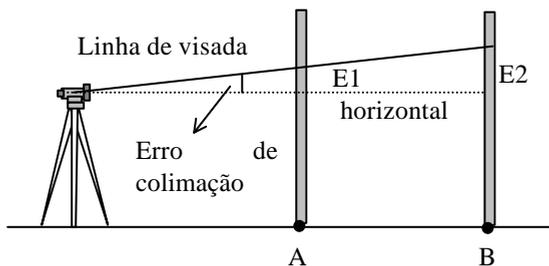
Para ilustrar a questão da verificação instrumental, é apresentada a questão da verificação do paralelismo entre a linha de visada e o eixo horizontal de um nível. Um nível é um equipamento destinado a determinação de desníveis entre dois pontos, através da materialização de plano horizontal, consistindo basicamente de uma luneta, um nível de bolha e dispositivos de calagem. Os eixos principais do nível são: eixo principal ou de rotação do nível (ZZ'), eixo óptico ou de colimação (OO') e eixo do nível tubular ou tangente central (HH'). A figura 2 ilustra estes eixos.

FIGURA 2 – EIXOS PRINCIPAIS DE UM NÍVEL.



Para um nível retificado, as condições que os eixos devem satisfazer são as seguintes: quando o equipamento estiver perfeitamente nivelado, o eixo ZZ' deve estar na vertical, o eixo HH' deve estar na horizontal e ortogonal ao eixo principal e finalmente o eixo OO' deve ser paralelo ao eixo HH' . Quando esta última condição não é atendida, diz-se que o nível apresenta um erro de colimação, ou seja, a linha de visada forma um determinado ângulo com a horizontal. A presença deste problema no nível causará uma erro na leitura na mira proporcionalmente à distância, conforme mostra a figura 3.

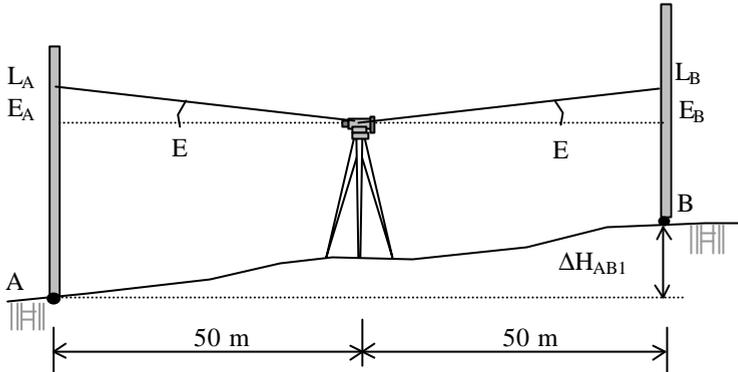
FIGURA 3 – EFEITO DO ERRO DE COLIMAÇÃO



A determinação deste erro pode ser feita diretamente em campo, da seguinte forma:

a) Inicialmente posiciona-se duas miras a aproximadamente cem metros uma da outra e estaciona-se o nível a igual distância das mesmas. Efetua-se as leituras de ré e vante. Como o nível está a igual distância entre as miras, o erro de colimação será o mesmo nas duas leituras e será eliminado durante o cálculo do desnível entre os pontos. A figura 4 apresenta esta situação.

FIGURA 4 – DETERMINAÇÃO DO ERRO DE COLIMAÇÃO – ETAPA 1.



Onde:

L_A = leitura na mira ré

L_B = leitura na mira vante

E = erro de colimação

E_A = Erro de leitura em ré

E_B = Erro de leitura em vante

ΔH_{AB1} = desnível entre o ponto A e B com o nível posicionado a igual distâncias das miras.

O desnível entre o ponto A e B pode ser calculado a partir de (1).

$$\Delta H_{AB1} = L_A + E_A - (L_B + E_B) \quad (1)$$

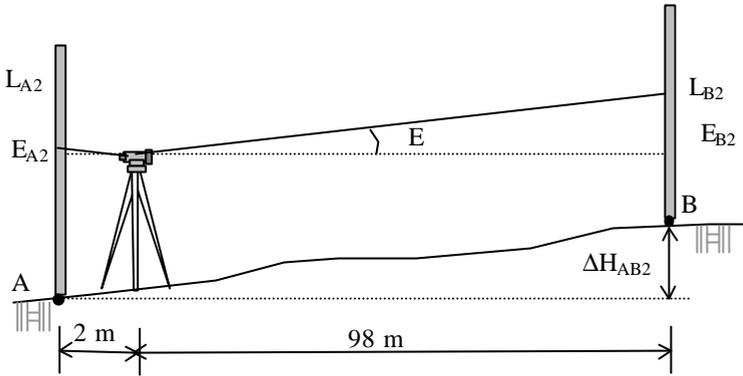
Considerando E_A igual a E_B tem-se:

$$\Delta H_{AB1} = L_A + E_A - L_B - E_B \quad (2)$$

$$\Delta H_{AB1} = L_A - L_B \quad (3)$$

b) Estaciona-se então o nível a 2 metros de uma das miras (figura 5). São repetidas as leituras em ambas as miras. Para a leitura próxima ao nível, pode-se considerar o erro de colimação desprezível. Ao calcular-se a diferença de nível entre os dois pontos a partir destas leituras e comparar este valor com o obtido na etapa anterior, a diferença será decorrente do erro de colimação.

FIGURA 5 – DETERMINAÇÃO DO ERRO DE COLIMAÇÃO – ETAPA 2.



O novo desnível entre o ponto A e B pode ser calculado a partir de (5).

$$\Delta H_{AB2} = L_{A2} + E_{A2} - (L_{B2} + E_{B2}) \quad (4)$$

$$\Delta H_{AB2} = L_{A2} - L_{B2} + E_{A2} - E_{B2} \quad (5)$$

Considerando-se que E_{A2} é desprezível em função da distância do nível à mira, é possível calcular o erro provocado na leitura da mira em decorrência do erro de colimação simplesmente comparando-se os desníveis obtidos nas duas etapas, uma vez que o desnível deve ser o mesmo. O erro será calculado pela equação (8).

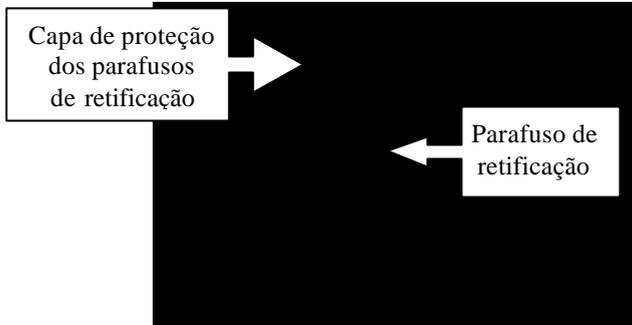
$$\Delta H_{AB1} = \Delta H_{AB2} \quad (6)$$

$$L_{A1} - L_{B1} = L_{A2} - L_{B2} - E_{B2} \quad (7)$$

$$E_{B2} = L_{A2} - L_{B2} - (L_{A1} - L_{B1}) \quad (8)$$

Para níveis automáticos, a retificação deve ser conduzida junto aos parafusos de retificação dos retículos (figura 6). Com o equipamento ainda estacionado conforme etapa anterior, calcula-se o valor da leitura para a mira posicionada no ponto B e com o auxílio destes parafusos, desloca-se a placa gravada com os retículos de forma que o retículo horizontal fique posicionado exatamente sobre a leitura calculada. Sugere-se que após realizada esta etapa, seja refeita a determinação do erro de colimação.

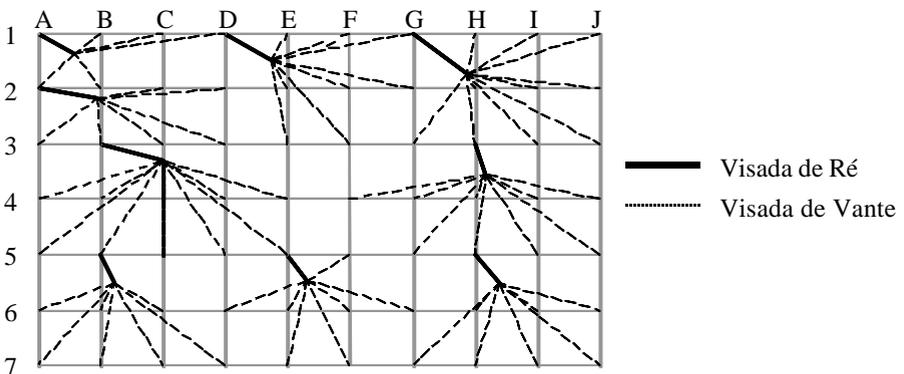
FIGURA 6 – PARAFUSO DE RETIFICAÇÃO DO NÍVEL.



Quando se está utilizando a técnica do nivelamento geométrico por visadas iguais este erro é eliminado, uma vez que o erro é o mesmo para a leitura em ré e vante. Porém, para o nivelamento geométrico por visadas extremas, este problema é crítico, uma vez que o mesmo não é eliminado.

Para ilustrar o efeito do erro de colimação, assumiu-se um equipamento com um erro de colimação de $2'$ (um erro aproximado de 3 cm no desnível para uma distância de 50m) e foram calculadas as cotas de uma malha de pontos com 120m de comprimento por 180 metros de largura, num total de 21.600 m². Considerou-se que esta malha foi estaqueada de 20 em vinte metros, apresentando um total de 54 piquetes. Inicialmente as cotas de todos os pontos da malha foram determinadas considerando-se um instrumento devidamente retificado e depois com o equipamento com erro de colimação. A figura 7 apresenta a malha e as visadas utilizadas para a determinação das cotas pelo método das visadas extremas.

FIGURA 7 – MALHA E VISADAS EFETUADAS.



É possível observar pela figura 9 que quanto mais se afasta do ponto de início do nivelamento, maiores as diferenças, uma vez que o erro se acumula durante a determinação das cotas da malha. Considerando-se, por exemplo, que esta área fosse plana, durante o cálculo do volume de corte ou aterro seria introduzido um erro de aproximadamente 600 m^3 no cálculo final, o que do ponto de vista de um trabalho de engenharia é significativo.

4. CONCLUSÃO

O exemplo apresentado mostra a importância da verificação e retificação de equipamentos topográficos e geodésicos. Para que este tipo de atividade se torne algo comum é necessário a conscientização da comunidade usuária, no sentido de estar sempre cobrando a realização do controle instrumental. Também há a necessidade de que um maior número de instituições se envolvam nesta área, uma vez que determinados tipos de calibrações necessitam de bases e equipamentos específicos.

5. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13133**: Execução de levantamento topográfico. Rio de Janeiro, 1994. 35p.

ESPARTEL, L. **Curso de Topografia**. 9º ed. Rio de Janeiro: Globo, 1987.

FAGGION, P. L. (2001). **Obtenção dos Elementos de Calibração e Certificação de Medidores Eletrônicos de Distância em Campo e Laboratório**, Tese de Doutorado apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Ciências Graduação em Ciências Geodésicas da UFPR, Curitiba.

FAGGION, P. L., **Contribuição para a implantação de um sistema de aferição de miras na Universidade Federal do Paraná**. Curitiba, 1993. 134 f. Dissertação (Mestrado). Curso de Pós-graduação em Ciências Geodésicas. Universidade Federal do Paraná.

DE FREITAS, S. R. C.; FAGGION, P. L. **A Instrumentação Geodésica na Universidade Federal do Paraná**. In: Congresso Técnico-Científico de Engenharia Civil, 1996, **Anais...** Florianópolis, v3, p.p. 494-503.

MEDINA, A. S. **Classificação de teodolitos e estações totais na UFPR**. Curitiba, 1998. 108 f. Dissertação (Mestrado). Curso de Pós-graduação em Ciências Geodésicas. Universidade Federal do Paraná.

DETERMINAÇÃO DO ERRO SISTEMÁTICO NA PSEUDODISTÂNCIA DEVIDO À IONOSFERA: AVALIAÇÃO DA PERFORMANCE DO MOD_ION E DO MODELO DE KLOBUCHAR

Claudinei Rodrigues de Aguiar¹
Paulo de Oliveira Camargo^{1,2}
Marcelo Tomio Matsuoka¹
William Rodrigo Dal Poz¹

¹Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas – FCT/UNESP

²Departamento de Cartografia – FCT/UNESP
{aguiar, paulo, tomio, dalpoz}@prudente.unesp.br

RESUMO

O GPS (*Global Positioning System*) é um sistema utilizado em larga escala pela comunidade civil, não somente para a navegação, mas também para levantamentos topográficos, geodésicos, agricultura de precisão, etc. Em Geodésia, para determinar linhas de bases médias e longas ou em regiões com alta atividade ionosférica, é essencial o uso de receptores GPS de dupla frequência. Mas, devido ao alto custo desses receptores, os de uma frequência vêm sendo amplamente utilizados na maioria dos trabalhos de posicionamento com GPS. Entretanto, a qualidade do resultado do posicionamento com receptores de uma frequência, é afetada pela influência da ionosfera sobre o sinal GPS. A magnitude do erro sistemático devido à refração ionosférica é diretamente proporcional ao TEC (*Total Electron Contents*) na camada ionosférica e inversamente proporcional à frequência. Se o valor do TEC fosse constante, os efeitos causados pela ionosfera seriam de fácil determinação. O problema é que o TEC é influenciado por diversas variáveis, tais como: ciclo solar, época do ano, hora do dia, localização geográfico e atividade geomagnética. Como a magnitude do efeito sobre o sinal GPS depende também da frequência, o erro devido à refração ionosférica pode ser minimizado utilizando-se receptores de dupla frequência. No entanto, para correção deste efeito no posicionamento com receptores de uma frequência, utiliza-se os parâmetros do modelo global de Klobuchar, que estão nas mensagens de navegação transmitidas pelos satélites GPS. No Brasil, na FCT/UNESP, foi desenvolvido um modelo regional da ionosfera (Mod_Ion), que permite calcular o erro sistemático devido à ionosfera na portadora L_1 , bem como o TEC. Neste trabalho foram comparados os valores do erro sistemático na pseudodistância, devido à ionosfera, obtido por com o Mod_Ion e

com o modelo de Klobuchar, com o seu valor obtido da combinação linear das observáveis advindas de um receptor de dupla frequência. Os testes mostraram que o Mod_Ion removeu na ordem de 91,7% do efeito da ionosfera e o modelo de Klobuchar 53,7%.

Palavras-chave: Pseudodistância; Refração Ionosférica; GPS

ABSTRACT

GPS is used worldwide by the civilian community, not only for navigation, but also for geodetic surveys and precision agriculture. In Geodesy, to determine medium and long baselines, or in regions with high ionospheric activity, the use of double frequency GPS receivers is essential. But due to the high cost of the receivers, the single frequency ones is widely used, mainly for GPS positioning. However, the quality of the L1 positioning results is affected by the influence of the ionosphere on GPS signal. The magnitude of the systematic error due to ionospheric refraction is directly proportional to TEC (Total Electron Contents) in the ionospheric layer and inversely to frequency. If the value of the TEC were constant, the effects caused for the ionosphere would be easily determined. However, the TEC is influenced by several variables, such as: solar cycle, time of the year, hour of the day, geographic location and geomagnetic activity. As the magnitude of this effect on GPS signal depends of the frequency, the error due to the ionospheric refraction can be minimized using double frequency receivers. However, for correction of this effect in the positioning with single frequency receivers, it is used the parameters of the broadcasted model of Klobuchar. In Brazil, a regional model of the ionosphere (Mod_Ion) was developed in FCT/UNESP, for computing the ionosphere systematic error, as well as the TEC. In this paper, the values of the ionosphere's error in the pseudorange, estimated by Mod_Ion and Klobuchar models will be compared with those from dual frequency receivers. The tests have shown that 91,7% of the effects due the ionosphere have been removed by Mod_Ion and 53,7% by Klobuchar model.

Keywords: Pseudorange; Ionospheric Refraction; GPS

1. INTRODUÇÃO

O GPS (*Global Positioning System*) é um sistema utilizado em larga escala pela comunidade civil, não somente na navegação, mas também nos levantamentos topográficos, geodésicos, agricultura de precisão, etc.. Para as mais diversas

aplicações, os usuários do GPS têm a sua disposição vários modelos de receptores. Em Geodésia, para determinação de linhas de bases médias e longas ou em regiões com alta atividade ionosférica, é essencial o uso de receptores de dupla frequência. Mas, devido ao alto custo desses receptores, os de uma frequência vêm sendo amplamente utilizados na maioria dos trabalhos de posicionamento com GPS.

Entretanto, a qualidade do resultado do posicionamento com receptores de uma frequência é afetada, principalmente, pela influência da ionosfera sobre os sinais GPS, que por sua vez passou a ser a principal fonte de erro na navegação e no posicionamento com GPS, após a desativação da técnica SA (*Selective Availability* – Disponibilidade Seletiva) (Monico, 2000). A magnitude do erro sistemático devido à refração ionosférica é diretamente proporcional ao TEC (*Total Electron Contents* – Conteúdo Total de Elétrons) na camada ionosférica e inversamente proporcional à frequência, ou seja, ao número de elétrons presentes ao longo do caminho percorrido pelo sinal. Se o valor do TEC fosse constante, os efeitos causados pela ionosfera seriam de fácil determinação. O problema é que o TEC é influenciado por diversas variáveis, tais como: ciclo solar, época do ano, hora do dia, localização geográfica e atividade geomagnética, e é difícil de ser corrigido (Camargo, 1999).

Devido à refração ionosférica, os sinais GPS, no seu trajeto entre o satélite e a estação de rastreamento, sofrem um atraso no código e avanço na fase, resultando num aumento na medida da pseudodistância e numa diminuição na medida da fase da portadora, sendo ambos os efeitos de mesma magnitude, mas de sinais opostos. Como a magnitude do efeito sobre o sinal GPS depende da frequência, o erro sistemático de primeira ordem pode ser facilmente eliminado, quando se utilizam receptores de dupla frequência, por meio de uma combinação linear entre as observáveis em L_1 e L_2 , denominada livre da ionosfera (*ionospheric free observable*). Por outro lado, para receptores de uma frequência não é possível eliminar o efeito devido à ionosfera por meio de uma combinação linear. Para a correção deste efeito no posicionamento com receptores de uma frequência pode-se utilizar os parâmetros do modelo global de Klobuchar, que estão nas mensagens de navegação transmitidas pelos satélites GPS.

O modelo de Klobuchar, também denominado modelo *Broadcast*, calcula o erro sistemático devido à ionosfera para receptores de uma frequência (Klobuchar, 1987). Os coeficientes desse modelo, num total de oito (α_i e β_i , $i = 0, \dots, 3$), são calculados periodicamente a partir de dados de uma rede global de estações GPS. Vários estudos realizados mostraram que o modelo de Klobuchar pode remover apenas algo em torno de 50% a 60% do efeito total (Newby e Langley, 1992).

Com o intuito de obter uma estratégia mais efetiva que os modelos globais, desenvolveu-se, no Brasil, no Departamento de Cartografia da FCT/UNESP, um modelo de concepção regional (denominado de Mod_Ion), que representa, de forma analítica, o comportamento da ionosfera (Camargo, 1999). O Mod_Ion permite calcular o erro sistemático devido à ionosfera na portadora L_1 , bem como o TEC,

que é analiticamente representada pela série do tipo de Fourier. Os parâmetros dessa série são estimados a partir de dados GPS de dupla frequência coletados pelas estações ativas da RBMC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo) utilizando uma estimativa em lote pelo Método dos Mínimos Quadrados. A partir desses coeficientes é possível corrigir as observáveis GPS da portadora L_1 do efeito sistemático da ionosfera da estação de interesse.

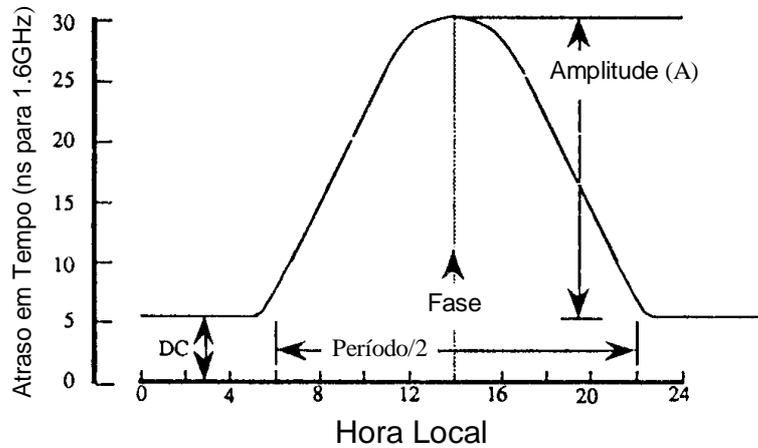
O objetivo principal desse trabalho é comparar os valores do erro sistemático na pseudodistância, devido à ionosfera, obtido com o Mod_Ion e com o modelo de Klobuchar, com o valor verdadeiro, resultante da combinação linear das observáveis obtidas com um receptor de dupla frequência. Para realizar a análise a partir das observações de pseudodistância derivada do código C/A, utilizou-se os dados da estação UEPP, que pertence a RBMC, e que está localizada em Presidente Prudente.

2. MODELO DE KLOBUCHAR

O modelo matemático envolvido na correção do efeito da ionosfera no GPS, cujos coeficientes são transmitidos com as mensagens de navegação, foi desenvolvido por Klobuchar (1987), para atender, especificamente, os usuários de receptores GPS de simples frequência. Esse modelo permite calcular o atraso ionosférico, ou seja, a correção ionosférica para a pseudodistância entre o satélite e o receptor. Os coeficientes do modelo, num total de oito (α_i e β_i , $i = 0, \dots, 3$), são calculados periodicamente a partir de uma rede global de estações GPS e transmitidos pelos satélites, como parte das mensagens de navegação (Leick, 1995). Portanto, são válidos para qualquer usuário do sistema GPS, razão pela qual é considerado como um modelo global.

Para descrever a variação da ionosfera durante o dia, o modelo utiliza-se da função co-seno com amplitude máxima às 14:00 horas locais. A amplitude e o período da função co-seno são calculados em função da latitude geomagnética e dos coeficientes transmitidos pelos satélites e representados por um polinômio de terceiro grau (Leick, 1995). Durante a noite, o atraso ionosférico em L_1 é considerado constante e igual a 5 nanosegundos e que equivale, aproximadamente, a 1,5 m ou 9,24 unidades de TEC (TECU), sendo que $1 \text{ TECU} = 10^{16} \text{ el/m}^2$. A figura 1 mostra uma simples representação da ionosfera, a partir das mensagens transmitidas (Newby e Langley, 1992).

FIGURA 01 – REPRESENTAÇÃO DA IONOSFERA A PARTIR DAS MENSAGENS TRANSMITIDAS



O algoritmo empregado no modelo de Klobuchar para calcular a correção ionosférica das medidas feitas com a portadora L_1 , além dos oitos coeficientes α_i e β_i , ($i = 0, \dots, 3$), utiliza a latitude, a longitude geodésica da estação, o azimute, o ângulo de elevação do satélite e o tempo GPS da época de observação. A seqüência detalhada deste algoritmo pode ser encontrada em Leick (1995), Camargo (1999), Matsuoka e Camargo (2002) e Matsuoka (2003).

3. MODELO REGIONAL DA IONOSFERA (MOD_ION)

A principal técnica para correção do efeito da refração ionosférica é baseada em medidas da pseudodistância ou da fase da portadora, obtidas por receptores de dupla frequência, pois proporcionam correções mais acuradas dos efeitos da refração da ionosfera.

O modelo a ser apresentado é baseado na diferença entre as observáveis GPS. Na derivação do modelo, os erros devido ao não sincronismo do relógio do satélite e do receptor, o erro das efemérides e da refração da troposfera, não serão considerados, pois estes efeitos contaminam cada uma das medidas efetuadas, em ambas as frequências, da mesma maneira. Como haverá diferenciação entre as medidas, os mesmos serão cancelados, não comprometendo o resultado do método. Para as pseudodistâncias (P_{1r}^s, P_{2r}^s) originais ou filtradas pela fase da portadora, o modelo é expresso por (Camargo, 1999):

$$F(P_{2r}^s - P_{1r}^s) = I_{1r}^s + F[(S_{p2}^s - S_{p1}^s) + (R_{p2} - R_{p1})_r] + F\varepsilon_{p21} \quad (1)$$

com $F = f_1^2 / (f_1^2 - f_2^2)$.

A equação (1) é utilizada para o cálculo do atraso ionosférico (I_{1r}^s) na portadora L_1 . As diferenças $(S_{p2}^s - S_{p1}^s)$ e $(R_{p2} - R_{p1})_r$ respectivamente, representam o erro sistemático interfrequência L_1 - L_2 dos satélites e dos receptores e ϵ_{P21} as diferenças dos demais erros remanescentes. O atraso ionosférico ao longo do caminho satélite/receptor pode ser obtido em função do atraso ionosférico vertical (I_1^v), por meio da equação, designada de função de mapeamento geométrica padrão:

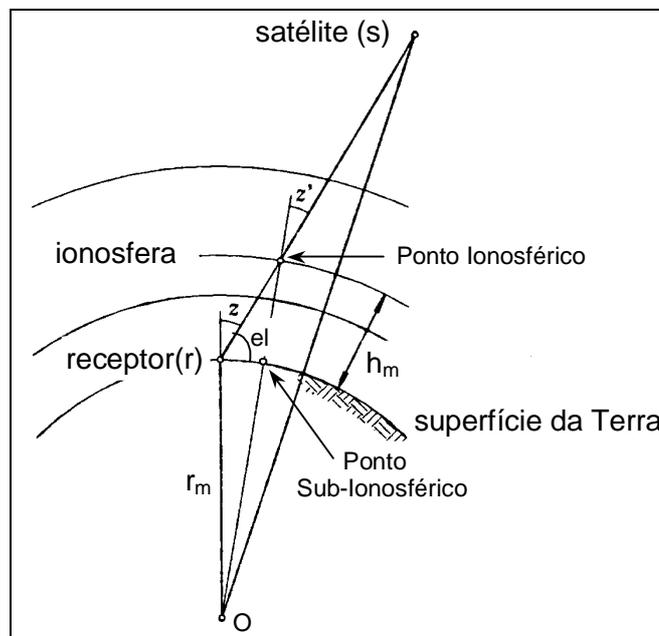
$$I_{1r}^s = \frac{I_1^v}{\cos(z'^s)_r} \quad (2)$$

O valor de z'^s que representa o ângulo zenital do caminho do sinal, em relação a um plano de altitude média h_m , é obtido de acordo com a seguinte equação:

$$\text{sen } z' = \frac{r_m}{r_m + h_m} \text{sen } z \quad (3)$$

onde r_m é o raio médio da Terra, h_m representa a altura média da ionosfera, que varia entre 300 e 450 km, e z é a distância zenital do satélite. A figura 2 ilustra as quantidades envolvidas na equação (3) (Camargo, 1999).

FIGURA 02 – GEOMETRIA PARA O ATRASO DO CAMINHO IONOSFÉRICO



Substituindo a equação (2) na (1), tem-se que:

$$F(P_{2r}^s - P_{1r}^s) = \frac{I_1^v}{\cos(\zeta_r^s)} + F[(S_{p2}^s - S_{p1}^s) + (R_{p2} - R_{p1})_r] + F\varepsilon_{p21} \quad (4)$$

Devido à natureza periódica do efeito da ionosfera, no Mod_Ion utiliza-se a seguinte série para modelar a correção ionosférica na direção da vertical:

$$I_1^v = a_1 + a_2 B^s + \sum_{\substack{i=1 \\ j=2i+1}}^n \{a_j \cos(ih^s) + a_{j+1} \sin(ih^s)\} + a_{n*2+3} B^s h^s \quad (5)$$

A variável B^s representa a diferença entre as latitudes geográficas do receptor e a do ponto sub-ionosférico (projeção da latitude do ponto ionosférico, na camada ionosférica de altitude média h_m , sobre a superfície da Terra) e a variável h^s é dada por:

$$h^s = \frac{2\pi}{T} (t - 14^h) \quad (6)$$

onde T representa o período de 24 horas e t a hora local do ponto sub-ionosférico.

O número total de parâmetros deste modelo é dado por $n*2+3+r+s$, onde os $n*2+3$ representam os coeficientes da série, r corresponde aos erros sistemáticos devido à interferência dos receptores, num total igual ao número de receptores utilizados na rede e s corresponde a interferência dos satélites, num total igual ao número de satélites rastreados para determinação dos parâmetros do modelo. O sistema de equações a ser utilizado no ajustamento pelo MMQ (Método dos Mínimos Quadrados) apresenta deficiência de característica igual a 1 (um). Neste caso, a singularidade é eliminada com a introdução de injunções num dos receptores ou num dos satélites. Os parâmetros são estimados em lote pelo MMQ, utilizando o método das equações de observação com injunção (método paramétrico com injunção). O Controle de qualidade baseado no teste estatístico Qui-quadrado (χ^2) para a análise da qualidade do ajustamento, bem como o teste de significância dos parâmetros, com o objetivo de validar os parâmetros da série utilizada foram implementados. Atualmente o programa considera a tendência interferência dos satélites como injunção, uma vez que desde abril de 1999, os mesmos são estimados corretamente e enviados nas mensagens de navegação, designados de Time Group Delay (T_{GD}) e dados em segundos.

A partir dos coeficientes do modelo, e do conhecimento de um valor aproximado para a latitude, longitude e altitude da estação pode-se efetuar correções nas observáveis realizadas com a portadora L_1 , utilizando o programa Cor_Rinex_Ion (Camargo, 1999). Os arquivos de observações utilizados para calcular os coeficientes, bem como os que serão corrigidos, devem estar no formato

RINEX (*Rinex Independent EXchange format*), pois permite o processamento dos dados em qualquer software GPS.

4. EXPERIMENTOS

O objetivo dos experimentos é utilizar o Mod_Ion e o modelo de Klobuchar para determinar o atraso ionosférico para as pseudodistâncias (L_1) do arquivo da Estação UEPP da RBMC. Para estimar os coeficientes do Mod_Ion foram utilizados os dados GPS coletados nas estações da RBMC, exceto UEPP. Posteriormente, foram estimados os atrasos ionosféricos para a estação em questão. Estes dados foram coletados durante o período de 24 horas do primeiro dia de abril de 2002 (outono). Como visto anteriormente, os coeficientes do modelo de Klobuchar fazem parte das efemérides transmitidas. Vale salientar que a escolha de um dia deste mês baseou-se nos experimentos realizados em Matsuoka (2003) e Fonseca Junior (2002), onde concluíram que o maior efeito da ionosfera ocorre no outono e primavera.

A performance de ambos os modelos foi avaliada por meio da diferença entre o atraso ionosférico estimado, pelos modelos Mod_Ion e Klobuchar, e o atraso ionosférico considerado como de referência, calculado por meio da combinação linear.

A técnica utilizada para determinar o atraso ionosférico, que será tomado como referência, baseou-se na equação 1, reescrita da seguinte forma:

$$I_{(R)} = F(P_2 - P_1) - F(cT_{GD}) - F(R_{GD}), \quad (7)$$

onde $I_{(R)}$ é o atraso ionosférico verdadeiro (de referência) em L_1 , a constante F já foi apresentada na equação 1 e a constante c é a velocidade da luz. Os termos (T_{GD}) e (R_{GD}), representam, respectivamente, a correção do erro sistemático interfrequência L_1 - L_2 dos satélites e dos receptores. Os valores da tendência interfrequência para os satélites são fornecidos nas mensagens de navegação transmitidas pelos satélites, e a do receptor GPS da estação UEPP, foi estimada para o experimento em questão e corresponde a 1,85 m. Porém, o valor não é absoluto, pois foi estimado conjuntamente com os coeficientes do Mod_Ion, e independente dos coeficientes que foram estimados para serem aplicados nas correções.

Os valores do erro sistemático em L_1 , devido à ionosfera, estimados pelos modelos Mod_Ion e Klobuchar, serão comparados com os obtidos pela equação 7. Dessa forma, pode-se quantificar a eficiência de ambos os modelos na estimação do atraso ionosférico.

4.1. ANÁLISE DA PERFORMANCE DOS MODELOS UTILIZADOS

Como visto, os atrasos ionosféricos para a estação UEPP foram estimados para os seguintes casos:

- com o uso do Mod_Ion ($I_{(Mod_Ion)}$); e
- com o uso do modelo de Klobuchar ($I_{(Klob)}$).

As figuras 3 e 4 mostram, respectivamente, a diferença entre o atraso ionosférico estimado ($I_{(Mod_Ion)}$ e $I_{(Klob)}$) e o atraso calculado ($I_{(R)}$) com as pseudodistâncias obtidas em ambas portadoras e corrigido do T_{GD} e R_{GD} , para os satélites 13, 17, 26 e 31, totalizando um período de aproximadamente 24 horas.

FIGURA 03 – DISCREPÂNCIAS ENTRE O ATRASO IONOSFÉRICO ESTIMADO PELO MOD_ION E O ATRASO CALCULADO – ESTAÇÃO UEPP

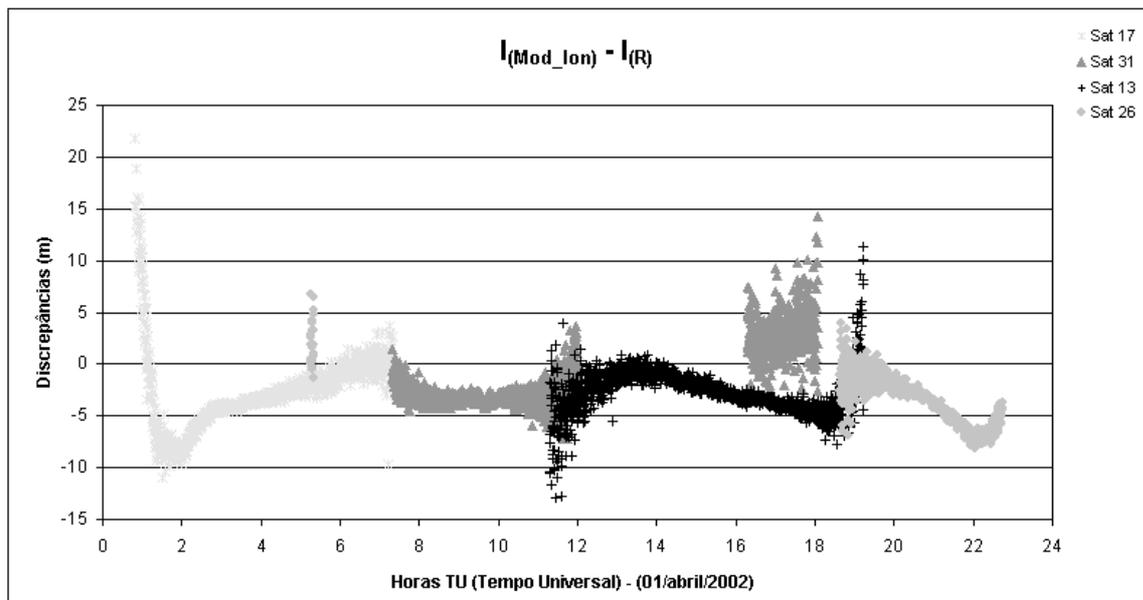
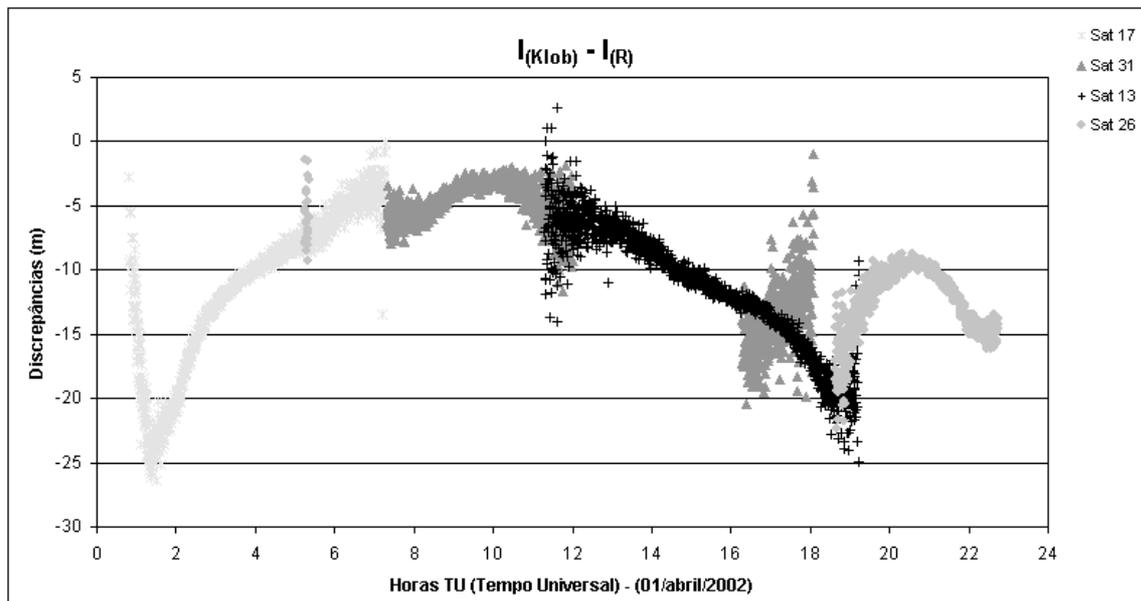


FIGURA 04 – DISCREPÂNCIAS ENTRE O ATRASO IONOSFÉRICO ESTIMADO PELO MODELO DE KLOBUCHAR E O ATRASO CALCULADO – ESTAÇÃO UEPP



Nas figuras 3 e 4, pode-se verificar o comportamento das discrepâncias dos valores estimados por ambos os modelos em relação aos valores calculados tomados como referência. Observa-se que as discrepâncias do atraso ionosférico estimado com o Mod_Ion são menores do que as do modelo de Klobuchar.

Na figura 3, pode-se verificar que no período entre as 3 e 21 horas TU (\cong 0 e 18 horas local) as discrepâncias dos valores estimados com o Mod_Ion permanecem praticamente estáveis entre -5 e 0 m. Os valores que não pertencem a esse período, ou seja, nas primeiras e nas últimas horas, as discrepâncias apresentam uma grande variação. Isso representa indícios do efeito da cintilação, pois, no Brasil, os horários de cintilação mais intensos são limitados à uma hora após o pôr do Sol até, aproximadamente, à meia noite local. Porém, deve-se realizar um estudo exclusivamente direcionado a esse assunto para se poder afirmar com mais rigor científico as influências da cintilação ionosférica. Quanto ao gráfico relativo ao modelo de Klobuchar (figura 4) não se observa em nenhum momento um comportamento estável das discrepâncias como ocorreu no Mod_Ion.

Nas figuras 3 e 4 as discrepâncias calculadas para o satélite 31, apresentaram comportamentos distintos nos períodos de observação. Analisando-se este comportamento em relação ao ângulo de elevação, pôde-se verificar que no primeiro período de observação (entre 7 e 12 horas TU) o satélite chegou a apresentar um ângulo de elevação bem acima do horizonte do receptor, com pico em 52° . Já no segundo período (entre 16 e 18 horas TU) houve um curto período de observação do satélite, pois este apresentou uma elevação média de 12° , ou seja, o satélite apontou no horizonte do receptor, permaneceu próximo ao horizonte, e posteriormente saiu do

campo de observação do receptor. Logo, pode-se verificar que a magnitude do efeito da refração ionosférica é maior para ângulos de elevação menores.

A tabela 1 apresenta, para cada satélite, os valores médios do atraso ionosférico estimado ($I_{(Mod_Ion)}$ e $I_{(Klob)}$) e o valor calculado ($I_{(R)}$) para o período de observação tomado como referência. Também são apresentadas as discrepâncias entre os valores estimados por ambos os modelos e o valor calculado.

TABELA 01 – MÉDIA DOS ATRASOS IONOSFÉRICOS E DAS DISCREPÂNCIAS

Satélites	Atraso ionosférico (metros)			Discrepâncias (metros)	
	$I_{(Mod_Ion)}$	$I_{(Klob)}$	$I_{(R)}$	$I_{(Mod_Ion)} - I_{(R)}$	$I_{(Klob)} - I_{(R)}$
01	23,00	15,48	23,75	-0,75	-8,27
02	21,29	12,82	20,92	0,37	-8,1
03	7,20	4,93	9,72	-2,52	-4,79
04	30,83	19,54	30,04	0,79	-10,5
05	18,21	9,09	21,16	-2,95	-12,07
06	11,66	3,97	15,99	-4,33	-12,02
07	27,97	16,42	25,26	2,71	-8,84
08	27,38	17,41	27,96	-0,58	-10,55
09	21,89	11,27	25,07	-3,18	-13,8
10	28,39	14,53	29,18	-0,79	-14,65
11	15,24	11,01	16,51	-1,27	-5,5
13	25,38	16,69	28,05	-2,67	-11,36
14	7,06	5,47	10,00	-2,94	-4,53
15	10,45	3,78	13,39	-2,94	-9,61
17	11,89	7,22	14,69	-2,8	-7,47
18	9,24	2,42	12,69	-3,45	-10,27
20	18,68	13,01	20,01	-1,33	-7
21	7,76	4,28	10,19	-2,43	-5,91
22	19,72	11,29	20,31	-0,59	-9,02
23	23,11	10,93	26,35	-3,24	-15,42
24	28,34	16,36	28,19	0,15	-11,83
25	15,27	8,82	19,57	-4,3	-10,75
26	24,51	15,87	27,96	-3,45	-12,09
27	27,77	17,91	27,62	0,15	-9,71
28	26,91	17,28	27,50	-0,59	-10,22
29	14,91	8,39	16,41	-1,5	-8,02
30	11,98	4,09	14,76	-2,78	-10,67
31	19,31	13,55	20,59	-1,28	-7,04
Média	19,12	11,20	20,85	-1,73	-9,65

Pela tabela 1, pode-se verificar os valores médios dos atrasos ionosféricos estimados para cada satélites, com ambos os modelos, bem como, os valores médios calculados. A média geral dos atrasos ionosféricos é de 19,12 m com os estimados com o Mod_Ion e de 11,20 m com o modelo de Klobuchar. Por outro lado, o valor calculado é de 20,85 m. Isso corresponde a uma diferença de -1,73 m com o Mod_Ion e de -9,65 m com o modelo de Klobuchar. Esses valores representam o

que restou para que o atraso ionosférico fosse estimado na sua totalidade, com ambos os modelos. Dessa forma, pode-se afirmar que, em termos de porcentagem, o Mod_Ion estimou, em média, 91,7% do atraso ionosférico médio total, enquanto o modelo de Klobuchar estimou 53,7%. O valor referente ao modelo de Klobuchar está de acordo com o que é citado na literatura (algo em torno de 50-60%). Já com relação ao Mod_Ion, este apresentou resultados melhores do que o modelo de Klobuchar.

Vale salientar que esses experimentos foram realizados com dados GPS coletados durante um período de máxima atividade solar e num dia pertencente à abril, mês em que ocorre intensa atividade ionosférica.

5. CONSIDERAÇÕES E CONCLUSÕES

De uma forma geral, com os resultados obtidos pôde-se apresentar os valores dos atrasos ionosféricos, na pseudodistância da portadora L_1 , estimados com o Mod_Ion e com o modelo de Klobuchar, bem como, analisar a eficiência de cada modelo. Para isso, foram calculados os atrasos ionosféricos utilizando-se os dados GPS de dupla frequência da estação UEPP.

Os resultados mostraram que o Mod_Ion foi mais eficaz que o modelo de Klobuchar na estimação do atraso ionosférico na portadora L_1 . Com o Mod_Ion estimou-se, em média, 91,7% do atraso ionosférico total, enquanto com o modelo de Klobuchar esse valor foi de 53,7%. O atraso ionosférico médio estimado com o Mod_Ion foi de 19,12 m, e de 11,2 m com o modelo de Klobuchar. O valor médio calculado, usando dados advindos de receptores de dupla frequência, foi de 20,85 m, representando, dessa forma, uma diferença de -1,73 m com o Mod_Ion, e de -9,65 m com o modelo de Klobuchar.

Quanto ao comportamento diário do atraso ionosférico, concluiu-se que o Mod_Ion, também, foi melhor que o modelo de Klobuchar. No período entre as 0 e 18 horas local as discrepâncias dos valores estimados com o Mod_Ion permanecem praticamente estáveis entre -5 e 0 m. Nos outros períodos verificou-se uma alta variação. Isso representa indícios do efeito da cintilação, pois, no Brasil, os horários de cintilação mais intensos são limitados à uma hora após o pôr do Sol até, aproximadamente, à meia noite local. Quanto ao modelo de Klobuchar este apresentou comportamento irregular em praticamente todo o período.

Para finalizar, vale ser citado, que para o cálculo dos valores do atraso ionosférico de referência, utilizando dados GPS de dupla frequência, foi elaborado um programa computacional na linguagem C++, designado de Programa para o Cálculo do Atraso Ionosférico. Este programa poderá ser bastante útil em trabalhos futuros para avaliar, por exemplo, a eficiência de possíveis mudanças no programa Mod_Ion. Ou mesmo, para algum usuário que desejar obter valores do atraso

ionosférico. Dessa forma, o programa é uma contribuição adicional importante deste presente trabalho.

6. REFERÊNCIAS

CAMARGO, P.O. Modelo regional da ionosfera para uso em posicionamento com receptores de uma frequência. Curitiba, 1999. 191f. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas). Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná.

FONSECA JUNIOR, E.S.. O sistema GPS como ferramenta para avaliação da refração ionosférica no Brasil. 2002. 176f. Tese (Doutorado) – Departamento de Engenharia de Transportes, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

KLOBUCHAR, J.A. Ionospheric time-delay algorithm for single-frequency GPS users, **IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems**, v.AES-23, n.3, p.325-331, 1987.

LEICK, A. GPS satellite surveying. 2 ed. New York: John Wiley & Sons, 1995. 560p.

MATSUOKA, M.T.; CAMARGO, P.O. Correção ionosférica utilizando o modelo de Klobuchar e o modelo regional da ionosfera: avaliação da performance no posicionamento por ponto. In: **Anais do Simpósio Brasileiro de Geomática** – CD-ROM, Presidente Prudente/SP, Brasil, 9 a 13 de julho, p.52-60, 2002.

MATSUOKA, M.T. Avaliação de funções para modelagem do efeito da refração ionosférica na propagação dos sinais GPS. Presidente Prudente, 2003. 164f. Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas) – Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista.

MONICO, J.F.G. Posicionamento pelo NAVSTAR – GPS: descrição, fundamentos e aplicações. São Paulo: Ed. da Unesp, 2000. 287p.

NEWBY, S.P.; LANGLEY, R.B. Three alternative empirical ionospheric models - are they better than GPS broadcast model?. **Proceeding of the Sixth International Geodetic Symposium on Satellite Positioning, Columbus, OH, USA, Mar. 16-20, v.1, p.240-244, 1992.**

7. AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi desenvolvido parcialmente com recursos financeiros da FAPESP (Mestrado – Proc. 01/01078-6) e da CAPES, com os dados GPS da RBMC fornecidos pela Diretoria de Geodésia do IBGE e com as efemérides precisas e correções dos relógios dos satélites fornecidos pelo GSD/NRCan do Canadá.

ESTRATÉGIAS DE PROCESSAMENTO DE UMA REDE GRAVIMÉTRICA CIENTÍFICA NO PARANÁ

Guataçara dos Santos Junior¹
Sílvio Rogério Correia de Freitas²
Pedro Luis Faggion²
Jair Silveira da Silva Junior²
Kauem Simões²
Camil Gemael²

- 1 Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná – Unidade de Ponta Grossa
- guata@pg.cefetpr.br
- 2 Universidade Federal do Paraná – sfreitas@ufpr.br

RESUMO

A realização da Rede Gravimétrica Científica do Paraná objetiva constituir uma rede de referência para a gravidade com precisão superior às demais redes relativas existentes no Brasil. Com a metodologia de levantamento empregada na obtenção dos circuitos gravimétricos, bem como as estratégias utilizadas no ajustamento individual da rede considerando os gravímetros tipo La Coste & Romberg modelos G-114, G-143 e G-372, obteve-se diferentes soluções para a rede gravimétrica. Com essas soluções individuais a disposição, objetiva-se fazer uma investigação no que diz respeito a qualidade da rede gravimétrica obtida em cada um desses ajustamentos. Nesta investigação faz-se uso de critérios de otimalidade para uma rede geodésica, condição de homogeneidade e de isotropia, como também do teste para igualdade de valores próprios, aplicados em uma rede gravimétrica. Portanto, através dessa teoria toma-se a decisão, fundamentada em um critério rigoroso, de qual ajustamento individual é melhor adequado à rede gravimétrica.

Palavras-chave: Rede Gravimétrica, Ajustamento, Condição de Homogeneidade, Condição de Isotropia.

ABSTRACT

The accomplishment of the Scientific Gravity Network in Paraná aims to constitute a precise reference network with quality better than the other existent relative networks in Brazil. With the employed survey methodology in forming gravity circuits, as well as the strategies used in the individual adjustment of the network considering the gravimeters type La Coste & Romberg models G-114, G-143 and G-372, allowed different solutions for the gravity network. With basis in individual solutions, it was established an investigation in respect the quality of the gravity network obtained in each one of those adjustments. In this investigation it was used the optimal criterion for a geodetic network: homogeneity and isotropy condition and the test for equality of eigenvalues, applied in a gravity network. Thus, through that theory the decision is made, based in a rigorous criterion, of which better individual adjustment is adequate to the gravity network.

Keywords: Gravity Network, Adjustment, Homogeneity Condition, Isotropy Condition.

1. INTRODUÇÃO

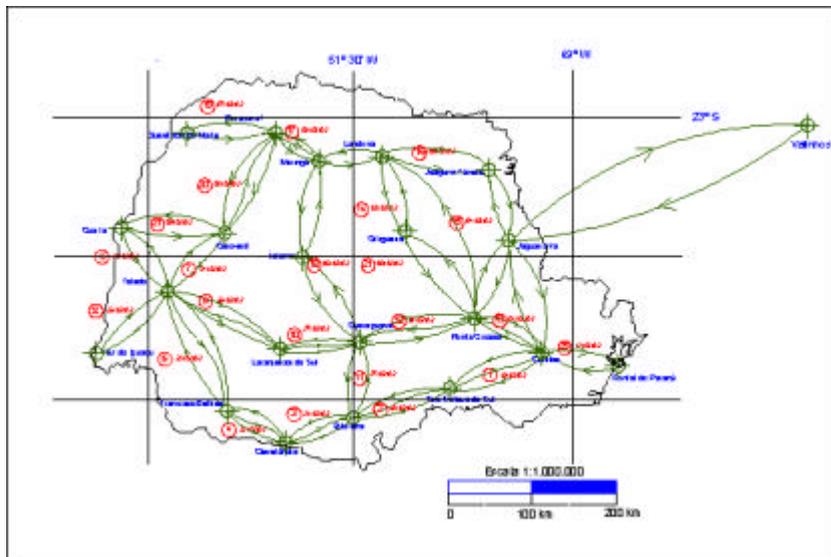
1.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS

Com base em estratégias inovadoras de levantamento e processamento de desníveis gravimétricos, detalhados em (FREITAS et al., 2002), foi estabelecida a Rede Gravimétrica Científica do Estado do Paraná. Esta composta de 21 estações em localidades do Paraná e uma em São Paulo. Prevendo-se a minimização do risco de perda de pontos desta rede e também futuros trabalhos associados com geóide gravimétrico no Paraná, os mesmos foram estabelecidos sobre os pontos da Rede GPS de Alta Precisão do Paraná, implantada pela Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Paraná (SEMA) - Instituto Ambiental do Paraná (IAP) em parceria com o IBGE. Como pode ser verificado, na figura 01, tais estações possuem uma distribuição bastante homogênea, o que seguramente facilitará futuros trabalhos de densificação gravimétrica no Estado.

1.2. ESTRATÉGIAS DE LEVANTAMENTO E DE PROCESSAMENTO DOS DESNÍVEIS GRAVIMÉTRICOS

De acordo com FREITAS et al (2002), a implantação de uma rede gravimétrica científica em uma determinada região, com qualidade superior à da IGSN71, é possível, se disponíveis no mínimo, duas estações absolutas na região, as quais possam ser acessadas em períodos menores que 12h e cujos valores da gravidade possuam diferenças na ordem dos valores extremos dos pontos a serem implantados, tal que seja possível gerar um fator de escala para os instrumentos na época dos levantamentos. A injeção de condição adicional no ajustamento via circuitos envolvendo as estações absolutas, não gera resultados tão satisfatórios quanto os obtidos com a utilização das estações absolutas para gerar novos fatores de calibração para os gravímetros. Logo, procedimentos de calibração dos gravímetros de forma simultânea com o ajustamento da rede, implica em solução mais instável, pois não se propaga da mesma forma para toda a rede. Ainda em relação ao ajustamento da rede, constatou-se melhores resultados quando utilizado o inverso da variância, obtida via as múltiplas observações entre duas estações consecutivas, para construção da matriz dos pesos. Ainda não se sabe como conjugar dados oriundos de observações realizadas com o Scintrex com as oriundas dos gravímetros tipo La Coste & Romberg, já que apresentaram uma solução mais discrepante quando comparadas as soluções fornecidas pelos gravímetros tipo La Coste & Romberg. Um indicativo dessa maior discrepância entre os resultados fornecidos com o gravímetro Scintrex e os gravímetros tipo La Coste & Romberg está apontando para a deriva instrumental. Analizando-se as leituras efetuadas com esses gravímetros, por exemplo, obtidas do circuito sobre a RENEGA (Rede Nacional de Estações Gravimétricas Absolutas) com as estações Curitiba – Valinhos – Curitiba, verificou-se que a deriva instrumental do gravímetro Scintrex quando comparada com a deriva instrumental dos gravímetros tipo La Coste & Romberg apresentou uma discrepância considerável, chegando ser o triplo quando comparada com a deriva instrumental obtida pelo gravímetro G143, mesmo usando o modelo de previsão de deriva fornecido pelo fabricante do Scintrex.

FIGURA 01 – DISTRIBUIÇÃO DOS CIRCUITOS GRAVIMÉTRICOS IMPLANTADOS PARA REALIZAÇÃO DA REDE GRAVIMÉTRICA CIENTÍFICA DO ESTADO DO PARANÁ



FONTE: (FREITAS et al., 2002)

Por tanto, das possíveis soluções individuais obtidas com os gravímetros tipo La Coste & Romberg, destacaram-se as que utilizaram as novas tabelas de conversão dos valores das variações da leitura do dial do gravímetro em miligal e a estratégia de entrar com os elementos da matriz peso no ajustamento sendo o inverso da variância, esta obtida via as múltiplas observações entre duas estações consecutivas. Desta forma, reduziram-se a três as soluções individuais para a rede.

2. DECOMPOSIÇÃO ESPECTRAL DA MATRIZ VARIÂNCIA-COVARIÂNCIA DOS PARÂMETROS AJUSTADOS

Qualquer matriz simétrica pode ser decomposta em valores próprios λ_i e vetores próprios \mathbf{m}_i . Esta decomposição é chamada decomposição espectral. A decomposição espectral da matriz da matriz variância-covariância é representada por:

$$\Sigma_{xa} = \mathbf{M} \mathbf{\Lambda} \mathbf{M}^t \quad (1)$$

onde

M é a matriz ortogonal cujas colunas são vetores próprios de Σ_{xa} e Λ é a matriz diagonal formada pelos valores próprios de Σ_{xa} . Entre os valores próprios de Σ_{xa} existe a seguinte relação $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \Lambda \geq \lambda_u$.

Então,

$$\Sigma_{xa} = \begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} & \Lambda & m_{1u} \\ m_{21} & m_{22} & \Lambda & m_{2u} \\ M & M & \Lambda & M \\ m_{u1} & m_{u2} & \Lambda & m_{uu} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ O \\ \lambda_u \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_{11} & m_{21} & M & m_{u1} \\ m_{12} & m_{22} & M & m_{u2} \\ M & M & M & M \\ m_{1u} & m_{2u} & M & m_{uu} \end{bmatrix} \quad (2)$$

A teoria sobre valor próprio e vetor próprio pode ser vista pormenorizada, por exemplo, em OLIVEIRA (2003).

3. CRITÉRIOS DE OTIMALIDADE PARA REDES GEODÉSICAS

As informações a respeito da precisão de uma rede geodésica, neste caso gravimétrica, estão contidas na matriz variância-covariância dos parâmetros ajustados. Assim, os critérios de análise de qualidade de uma rede geodésica recaem sobre essa matriz (OLIVEIRA e DALMOLIN, 2002).

A análise da matriz variância-covariância divide-se em medida de acurácia local e global. O critério de acurácia local é dependente das submatrizes da matriz de covariâncias e descreve a situação de acurácia de um ponto ou de dois pontos. São representantes das medidas locais: a elipse de erros, elipses de confiança, elipse de erro relativo e elipse de confiança relativa. O critério de acurácia global é dependente da matriz de covariâncias completa e apresenta o comportamento estocástico da rede geodésica como um todo. Como representante das medidas globais, pode-se citar: hiperelipsóide de confiança, quociente Rayleigh, critério valor próprio e análise de componentes principais (DUPRAZ e NIEMEIER, 1981, p. 394).

A acurácia de uma rede é tanto melhor quanto menor for o valor próprio máximo ($\lambda_{máx}$) obtido da matriz de covariâncias dos parâmetros ajustados.

A fim de se escolher uma dessas três soluções, descritas acima, como a “melhor” para conceber uma rede gravimétrica, serão utilizados os critérios de otimalidade.

Pode-se propor conceitos de rede ideal no caso onde os requerimentos de precisão não são facilmente definidos.

Alguns dos mais importantes critérios de otimalidade e exigências para a rede geodésica (DUPRAZ e NIEMEIER, 1981, p. 387; WELSH et al., 2000, p. 133) são:

$$\det(\Sigma_{xa}) = \lambda_1 \times \lambda_2 \times \dots \times \lambda_p = \text{mín} \quad (3)$$

é a medida denominada variância generalizada que deve ser mínima;

$$\text{tr}(\Sigma_{xa}) = \lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_i + \dots + \lambda_u = \text{mín} \quad (4)$$

é a medida denominada variância total;

$$\lambda_{\max} = \text{mín} \quad (5)$$

significa que o quadrado do semi - eixo maior deve ser mínimo, indicando que a acurácia de uma rede será tão mais alta quanto for o valor próprio máximo da matriz variância - covariância do vetor dos parâmetros ajustados;

$$\frac{\lambda_{\max}}{\lambda_{\min}} = 1 \quad (6)$$

é conhecida como a condição de isotropia, ou seja, a medida de acurácia do ponto é a mesma em todas as direções;

$$\lambda_{\max} - \lambda_{\min} = \text{mín} \quad (7)$$

é a condição de homogeneidade, ou seja, as elipses se degeneram em uma circunferência e

$$p_1 = m\sqrt{\lambda_{\max}} \quad (8)$$

onde m é o vetor próprio associado ao λ_{\max} , fornece a direção e o comprimento do eixo principal do elipsóide de confiança em termos da primeira componente principal.

De acordo com OLIVEIRA (2003), uma rede gravimétrica que é somente homogênea, as elipses (ou elipsóides) de erro locais são os mesmos em todos os pontos. Uma rede gravimétrica que é apenas isotrópica, as elipses (ou elipsóides) variam de ponto para ponto, embora sejam todas reduzidas a círculos (na concepção bidimensional) ou esferas (na concepção tridimensional). Assumindo que uma rede gravimétrica (na concepção dimensional) é homogênea e isotrópica, então as elipses de erro locais reduzem-se a círculos de mesmo raio.

De acordo com CROSSILLA e MARCHESI (1983, p. 308), de todas as possíveis configurações de uma rede geodésica a melhor é aquela que satisfaz as condições (3), (4), (5) e (6)

Conforme JÄGER (1988, p. 83), os valores próprios e os vetores próprios representam respectivamente a medida para o juízo quantitativo e as grandezas geométricas qualitativas correspondentes a rede gravimétrica.

4. TESTE PARA IGUALDADE DE VALORES PRÓPRIOS

É muita pretensão esperar que na análise da matriz de variância – covariância dos parâmetros ajustados se consiga obter valores próprios associados a mesma, estritamente iguais. Mas para resolver esse problema, pode-se usar um teste estatístico para verificar a igualdade desses valores próprios a um determinado nível de significância α . Então, a fim de verificar, sob um nível de significância α , se existe um conjunto de p valores próprios, utiliza-se do teste da igualdade de valores próprios. Este teste pode ser usado para qualquer subconjunto consecutivo de valores próprios.

Sendo dado um subconjunto de b valores próprios associados a matriz de variância-covariância dos parâmetros ajustados

$$\lambda_{k+1} \leq \lambda_{k+2} \leq \dots \leq \lambda_{k+p}, \quad (9)$$

então, de acordo com (JACKSON, 1991, p. 86), para a hipótese nula tem-se:

$$H_0 : \lambda_{k+1} = \lambda_{k+2} = \dots = \lambda_p \quad (10)$$

e a estatística para esta hipótese é

$$v \left[- \sum_{j=k+1}^{k+b} \ln(\lambda_j) + b \ln \left(\frac{\sum_{j=k+1}^{k+b} \lambda_j}{b} \right) \right] \sim \chi^2 \quad (11)$$

onde v denota o número de graus de liberdade associado com a matriz de variância-covariância dos parâmetros ajustados e a distribuição qui-quadrado (χ^2) tem

$$\frac{(b-1)(b+2)}{2} \quad (12)$$

graus de liberdade. Fixado o nível de significância α , se a estatística calculada for maior que a estatística

$$\chi^2_{\frac{(b-1)(b+2)}{2}}, \quad (13)$$

rejeita-se a hipótese nula.

Para o caso em que $p = 2$, caso bivariado, ou seja, teste da igualdade de dois valores próprios consecutivos, tem-se para hipótese nula

$$H_0 : \lambda_1 = \lambda_2 \quad (14)$$

com a estatística

$$F^* = \frac{(n-2)(\lambda_1 - \lambda_2)}{8\lambda_1\lambda_2}. \quad (15)$$

A estatística F^* a ser testada tem distribuição F central com número de graus de liberdade no numerador igual a 2 e o número e graus de liberdade no denominador $(n - 2)$, ou seja, $F^* \sim F_{2,(n-2)}$ e n é o número de observações.

5. APLICAÇÃO DOS CRITÉRIOS DE OTIMALIDADE E DO TESTE PARA IGUALDADE DE VALORES PRÓPRIOS

Através dos ajustamentos individuais utilizando os desníveis gravimétricos obtidos a partir dos gravímetros G-114, G-143 e G-372, considerando as estratégias de levantamento e processamento dos desníveis gravimétricos assinalado na subseção 1.2, deseja-se fazer uma investigação através de um critério rigoroso Aplicando os critérios de otimalidade e o teste para igualdade de valores próprios, pode-se analisar e verificar qual ajustamento melhor concebe a rede gravimétrica.

5.1. APLICAÇÃO DOS CRITÉRIOS DE OTIMALIDADE E DO TESTE PARA IGUALDADE DE VALORES PRÓPRIOS NA MATRIZ DE VARIÂNCIA-COVARIÂNCIA DOS PARÂMETROS AJUSTADOS

Fazendo-se a decomposição espectral da matriz variância-covariância referente aos ajustamentos oriundos das observações quando utilizados os gravímetros G-114, G-143 e G-372, obtém-se respectivamente as matrizes Λ_{114} , Λ_{143} e Λ_{372} dos valores próprios.

Com o objetivo de verificar se cada uma das três soluções obtidas para a rede gravimétrica, é homogênea e isotrópica, aplicou-se o teste de igualdade de valores próprios nos três casos. Aplica-se a estatística expressa pela equação (11) e a hipótese nula formulada como

$$H_0 : \lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3 = \dots = \lambda_{17}. \quad (16)$$

Os resultados desses testes de igualdade seguem no quadro 01.

QUADRO 01 – TESTE DE IGUALDADE DE VALORES PRÓPRIOS

DADOS	G-114	G-143	G-372
v	6	6	6
b	17	17	17
á	5%	5%	5%
Estatística Calculada	172,24	177,77	266,64
$\chi^2_{1520,95}$	181,77	181,77	181,77

Os resultados, aplicando os critérios de otimalidade enunciados pelas equações (3), (4), (5) e (6), estão expostos no quadro 02.

QUADRO 02 – APLICAÇÃO DOS CRITÉRIOS DE OTIMALIDADE

Crítérios	G-114	G-143	G-372
$\det(\sum_{xa})$	$2,26.10^{-56}$	$1,41.10^{-59}$	$3,03.10^{-51}$
$\text{tr}(\sum_{xa})$	0,049	0,034	0,167
$\lambda_{\text{máx}}$	0,020	0,022	0,117
$\frac{\lambda_{\text{máx}}}{\lambda_{\text{mín}}}$	45667,933	4572,446	3752,370

6. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS E CONCLUSÕES

Este trabalho teve como objetivo em apresentar e aplicar os critérios de otimalidade de redes geodésicas e o teste de igualdade de valores próprios à uma rede gravimétrica.

A partir dos procedimentos estabelecidos, metodologias inovadoras adotadas para os levantamentos e processamento, e em vista dos resultados preliminares obtidos a partir das observações de campanha gravimétrica no Estado do Paraná, foi possível concluir que a solução, para os gravímetros La Coste & Romberg G-114, G-143 e G-372, relacionadas com o processamento considerando a correção preliminar da tabela de conversão dos gravímetros, via aplicação de um fator de escala e ponderação pelo inverso da variância das observações múltiplas com cada um dos gravímetros sobre cada um dos micro circuitos, se destacou em relação as demais soluções encontradas. Sendo assim, restaram três soluções para a rede, uma referente a cada um dos três gravímetros. A partir dessas conclusões preliminares, verificou-se a necessidade de avaliar dentre essas três soluções, qual seria a melhor, quanto a qualidade da rede. Assim, verificou-se a necessidade da utilização um critério rigoroso para tomar essa decisão. Aplicou-se o teste de igualdade de valores próprios individualmente em cada uma das três soluções resultantes, afim de verificar se cada uma dessas três soluções concebe uma rede gravimétrica homogênea e isotrópica.

Para os dados oriundos dos gravímetros G-114 e G-143, a estatística dada pela equação (11) com $v = 6$ e $b = 17$ forneceu respectivamente os resultados 172,24 e 177,77. A um nível de significância de 5%, estes resultados confrontados com a

estatística teórica $\chi^2_{1520,95}=181,77$, verificou-se que a hipótese nula não é rejeitada e portanto cada uma dessas duas soluções individualmente concebem uma rede homogênea e isotrópica. Com esta situação, as submatrizes que fornecem a acurácia local da rede, apresentam círculos de erros de mesmo raio e para a acurácia global uma hipersfera de erro.

Fazendo-se o mesmo para os dados oriundos do gravímetro G-372 e comparando a respectiva estatística calculada pela equação (11) com a estatística teórica correspondente, também ao nível de significância de 5%, conclui-se que a solução da rede obtida pelo gravímetro G-372 não apresenta característica global de homogeneidade e isotropismo. Poderia-se ainda neste caso, analisar cada um dos circuitos que compõe a rede, a fim de verificar o comportamento de cada um dos circuitos quanto a homogeneidade e isotropismo separadamente.

Constatou-se pelo critério de igualdade de valor próprio que duas das três soluções testadas para a Rede Gravimétrica Científica do Estado do Paraná possuem características de homogeneidade e isotropismo.

Aplicando os critérios de otimalidade para redes geodésicas dados pelas equações (3), (4), (5) e (6), nas duas soluções com características de homogeneidade e isotropismo, conforme os resultados dos valores próprios em absoluto expostos no quadro 02, verifica-se que a rigor deveríamos optar pela solução da rede obtida quando utilizado o gravímetro G-143 no levantamento das observações.

A integração do critério da igualdade de valores próprios com os critérios de otimalidade para redes geodésicas, fornecem subsídios matemáticos e estatísticos para tomarmos decisões a respeito da qualidade de uma rede gravimétrica.

7. REFERÊNCIAS

CROSSILA, F.; MARCHESI, C. Geodetic network optimization for the detection of crustal movements using a mekometer. **Bolletino di Geodesia e Science Affini**, Firenze, 1983, v. 42, n. 3, p.301-315.

DUPRAZ, H.; NIEMEIER, W. **Beurteilungskriterien für Geodätischer Netze**. In: Beiträ zum II. Internationalen Symposium über Deformationsmessungen mit Geodätischen Methoden. Bonn 25-28. September 1978. Herausgegeben von Ludger Hallermann, Bonn. Stuttgart: 1981, Wittwer, S., 386-400,.

FREITAS, S. R. C.; SANTOS JUNIOR, G.; FAGGION, P.L.; GEMAEL, C.; SILVA JR., J. S.; SIMÕES, K. Concepção dos Levantamentos Gravimétricos para o Estabelecimento de Rede Gravimétrica de Alta Precisão no Estado do Paraná. **Série em Ciências Geodésicas**, Curitiba, 2002, v.2, p. 41 – 56.

FREITAS, S. R. C.; FAGGION, P.L.; GEMAE, C.; SANTOS JUNIOR, G.; SILVA JR., J. S. Realization of a High Precision Gravity Network: Methodology and Results. In: VII Congreso Internacional de Ciencias de La Tierra, 2002, Chile. **Anais.**

JACKSON, J.E. **A user's guide to principal componentes.** New York, 2001, J. Wiley.

JÄGER, R. Analyse und Optimierung Geodätischer Netze nach Spektralen Kriterien und Mechanische Analogien. In: **Deutsche Geodätische Kommission bei der Bayerischen Akademie der Wissenschaften**, München, 1988, série C, n. 342.

OLIVEIRA, R. **Otimização dos Pesos das Observações Geodésicas pelo Problema de Valor Próprio Inverso.** Curitiba, 2003, 95.f. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas). Departamento de Geomática. Universidade Federal do Paraná.

OLIVEIRA, R.; DALMOLIN, Q. Análise da Geometria de Redes Geodésicas por Componentes Principais. **Boletim de Ciências Geodésicas**, Curitiba, 2003, v. 9, n. 1.

WELSCH, W.; HEUNECCKE, O. ;KUHLMANN, H. **Auswertung geodätischer Überwachungsmessungen.** Heidelberg: Wichmann. (Handbuch Ingenieurgeodäsie), 2000.

8. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq/Fundação Araucária Processo 520885/99-6 pelo apoio financeiro e bolsas concedidas, ao IBGE pelo empréstimo de dois gravímetros Lacoste & Romberg (G114 e G143) e ao Prof. Francisco Ferreira responsável pelo LPGA (Laboratório de Pesquisas e Geofísica Aplicada) pelo empréstimo do gravímetro Scintrex modelo CG3M.

DETERMINAÇÃO E COMPARAÇÃO DE COORDENADAS GEODÉSICAS PRECISAS UTILIZANDO OS CONCEITOS FKP E VRS

Marcio José Urakawa¹
Bernhard Heck²
Kurt Seitz³
Cláudia Pereira Krueger⁴

- 1 Universidade Federal do Paraná – marushio@cce.ufpr.br
- 2 Universität Karlsruhe – heck@gik.uni-karlsruhe.de
- 3 Universität Karlsruhe – seitz@gik.uni-karlsruhe.de
- 4 Universidade Federal do Paraná – ckrueger@cce.ufpr.br

RESUMO

O conceito de rede de estações de referência GPS para aplicações diferenciais mostra claramente que ele melhora significativamente a qualidade dos levantamentos, elevando a confiabilidade do usuário. Estas estações distanciam-se de 30 a 100 km, de forma geral. Este conceito possui diversas vantagens, uma vez que é possível obter-se uma rápida resolução das ambigüidades, coordenadas mais precisas e também a possibilidade da redução de erros. Além disso, observações redundantes de muitas estações de referência melhoram a confiabilidade dos dados das estações de referência. Outra vantagem é o crescimento geral na confiança do posicionamento cinemático em tempo real (RTK), e também posicionamentos acima de distâncias médias e em condições atmosféricas não favoráveis. A partir de uma rede de estações de referência, dois conceitos podem ser empregados no posicionamento em tempo real: o conceito de Parâmetros de Correção de Área (FKP) e a de Estação de Referência Virtual (VRS). Neste trabalho apresenta-se a determinação de coordenadas geodésicas com os conceitos FKP e VRS, em uma área teste definida dentro do estado federativo de Baden-Württemberg, na Alemanha. Apresenta-se também uma análise baseada na comparação das coordenadas geodésicas obtidas com estes conceitos de posicionamento em tempo real.

Palavras-chave: Rede de Estações de Referência; FKP; VRS

ABSTRACT

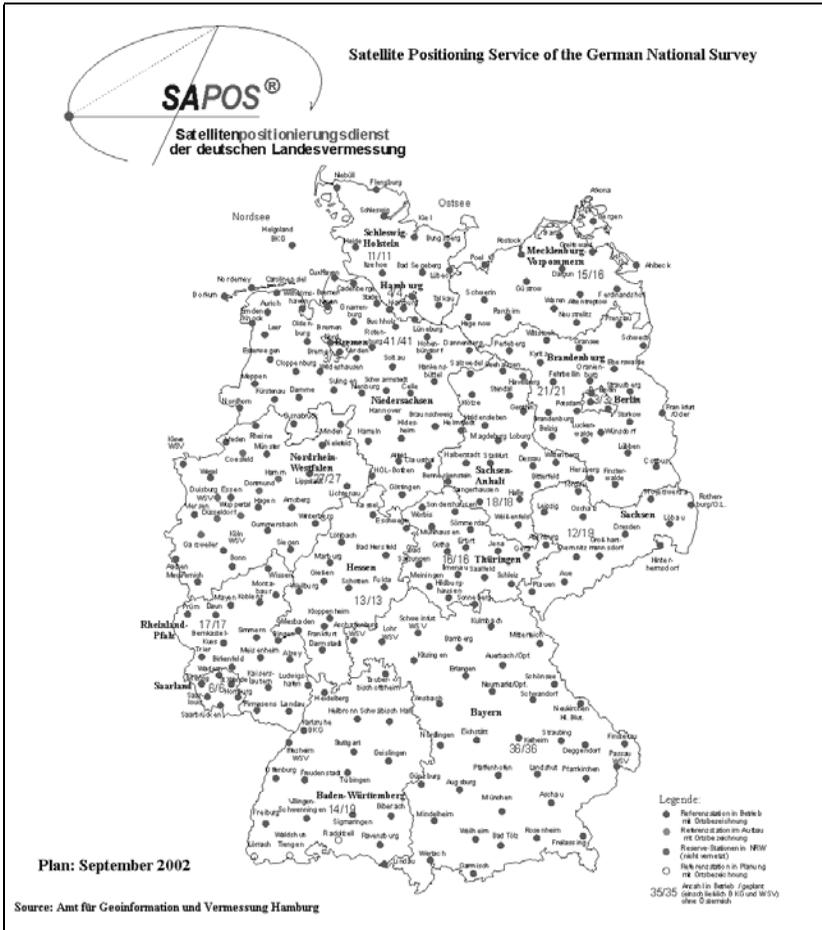
The concept of GPS reference stations network shows clearly that they improve significantly the quality of survey, rising the confidence of the user. Generally the distance between the stations is about 30 to 100 km. This concept has several advantages, one of them that it is possible to obtain a fast ambiguity solution, better accuracy coordinates and the possibility to reduce errors. Moreover, redundant observations of several reference stations improve the reliability of the reference stations data. Another advantage is the general increase in confidence of Real-time Kinematic (RTK) positioning, and also positioning above medium distances and in non-favorable atmospheric conditions. From a reference stations network, two concepts can be employed in Real-time positioning: the concept of Area Correction Parameters (FKP) and the Virtual Reference Station. This work is occupied with the determination of geodetic coordinates by the concepts FKP and VRS, in a test area defined inside of the Federative State of Baden-Württemberg in Germany. This is also an analysis based in comparison of geodetic coordinates obtained with these Real-time positioning concepts.

Keywords: Reference Stations Network; FKP; VRS

1. INTRODUÇÃO

O conceito de redes de estações de referência GPS mostra claramente que elas melhoram significativamente a qualidade dos levantamentos, elevando a confiabilidade do usuário. Estas estações distanciam-se de 30 a 100 km, de forma geral. Alguns países tem explorado este conceito (WANNINGER, 1999) e já possuem redes de estações de referência implantadas, como é o caso da Alemanha. Nela, a rede é disposta de forma a atender todo o seu território, como pode ser visto na FIGURA 01. Este trabalho vem sendo realizado pela AdV (*Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen*), a qual elabora em parceria com o SAPOS[®] (*Satellitenpositionierungsdienst der deutschen Landesvermessung*) projetos de serviços de posicionamento por satélites.

FIGURA 01 – DISPOSIÇÃO DA REDE DE ESTAÇÕES DE REFERÊNCIA NA ALEMANHA (SAPOS®, 2002)



Este conceito possui diversas vantagens, uma vez que é possível obter-se uma rápida resolução das ambigüidades, coordenadas mais precisas e também a possibilidade da redução de erros (por exemplo: erro de órbita e ionosfera). Além disso, observações redundantes de muitas estações de referência melhoram a confiabilidade dos dados destas estações. Isto deixa claro que o uso de estações de referência local temporária acaba sendo obsoleto (WANNINGER, 1997). Outra vantagem é o crescimento geral na confiança do posicionamento cinemático em

tempo real - RTK (*Real-Time Kinematic*), e também nos posicionamentos acima de distâncias médias e em condições atmosféricas não favoráveis (WÜBBENA et al., 2001). Desta forma é apresentado os conceitos FKP e VRS para aplicações em tempo real, que é foco deste trabalho.

2. SAPOS®

O SAPOS® estabelece uma permanente operação multi-funcional de serviços DGPS (GPS Diferencial), sendo eles disponibilizados com alta confiança para todo o território alemão. Ele oferece quatro serviços com diferentes características e níveis de precisão, como descreve-se a seguir e pode-se observar na TABELA 01:

- SAPOS® EPS (*Echtzeit Positionierungs-Service* - Serviço de Posicionamento em Tempo Real);
- SAPOS® HEPS (*Hochpräziser Echtzeit Positionierungs-Service* - Serviço de Posicionamento com Alta Precisão em Tempo Real);
- SAPOS® GPPS (*Geodätischer Präziser Positionierungs-Service* - Serviço de Posicionamento com Precisão Geodésica);
- SAPOS® GHPS (*Geodätischer Hochpräziser Positionierungs-Service* - Serviço de Posicionamento com Alta Precisão Geodésica).

TABELA 01 – SERVIÇOS DGPS SAPOS® (AdV, 1998)

Serviço	Disponibilidade	Transmissão	Usuários	Precisão	Atualização	Formato
EPS	Tempo real	Rádio	∞	1 a 3 m	3 a 5 s	RTCM 2.0
EPS	Tempo real	Banda 2m	∞	1 a 3 m	1 s	RTCM 2.0
HEPS	Tempo real	Banda 2m Telefonia	∞ $n \ll \infty$	1 a 5 cm	1 s	RTCM 2.1
GPPS	Próximo ao tempo real	Telefonia	$n \ll \infty$	1 cm		RINEX
GPPS	Pós-processado	Conexão via Rede	∞	1 cm		RINEX
GHPS	Pós-processado	Conexão via Rede	∞	< 1 cm		RINEX

A padronização das componentes de transmissão de dados possibilitam ao usuário ter fácil acesso via modernos meios de comunicação.

2.1. SAPOS[®] EPS

Oferece posicionamento em tempo real com uma precisão de 1 a 3 metros. As correções das pseudodistâncias dos códigos suavizados pela portadora encontram-se no formato padrão RTCM SC-104 (*US Technical Commission for Maritime Service-Special Committee No. 104*), versão 2.0. Estas correções são transmitidas em cooperação com as estações de rádio ARD (VHF), com a Telekom Alemã AG (ondas longas), e via estações da *Landesvermessungsamt* (bandas de 2 m). Para ser capaz de utilizar o serviço SAPOS[®] EPS um receptor GPS comum e um receptor VHF/LW disponível no mercado ou um receptor de bandas de 2 m com decodificador são suficientes.

2.2. SAPOS[®] HEPS

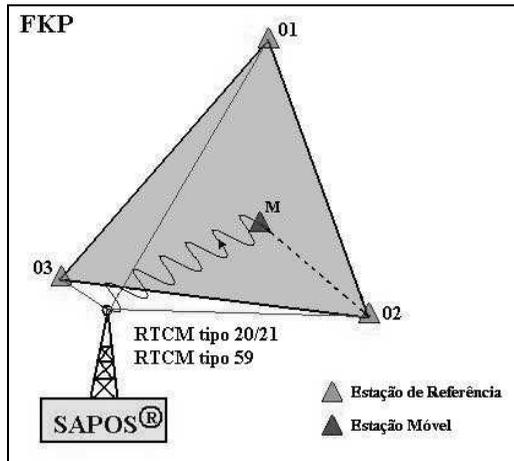
Este serviço também fornece um posicionamento em tempo real com precisão de 1 a 5 centímetros. As correções diferenciais enviadas ao usuário são da fase da portadora no formato padrão RTCM SC-104, versão 2.1 (mensagens tipo 1, 3, 16, 20 e 21). Elas são transmitidas em bandas de 2 metros através da própria *Landesvermessungsamt*, em intervalos de 1 segundo. É necessário um módulo decodificador da Adv. Muitas estações de referência GPS trabalham em bases interligadas e podem desse modo gravar influências de erros dependente da posição. Especificamente, valores corretos dependente da posição são fornecidos para o usuário, que pretendem um aumento adicional na confiabilidade e na precisão. Para maiores detalhes: <http://www.sapos.de>

Os conceitos de posicionamento diferencial em tempo real FKP e VRS utilizam-se do serviço HEPS. Para a composição de uma rede, no mínimo três estações de referência são necessárias (WANNINGER, 1995).

3. FKP

O conceito de posicionamento diferencial FKP (*Flächenkorrekturparameter* – Parâmetros de Correção de Área), como pode ser observada na FIGURA 02, consiste em uma central de computação, a qual calcula para cada satélite coeficientes FKP englobando os efeitos ionosféricos, troposféricos e de órbita, bem como outros fatores como o multicaminho e a variação do centro de fase da antena (PCV). Neste conceito as mensagens RTCM tipo 20/21 são transmitidas, bem como a mensagem RTCM tipo 59, contendo os coeficientes FKP para serem interpolados pela estação móvel (EULER, et. al., 2001). A estação de referência mais próxima da estação móvel é adotada como sendo a Estação Mestra.

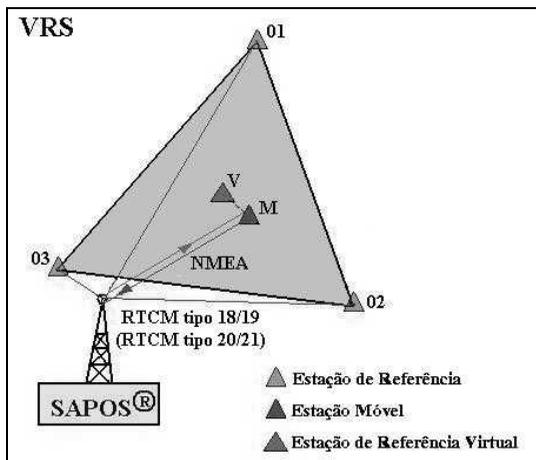
FIGURA 02 – CONCEITO DE POSICIONAMENTO DIFERENCIAL FKP



4. VRS

O VRS (*Virtual Reference Station*), outro conceito de posicionamento diferencial (FIGURA 03), consiste em uma estação móvel que além de receber as informações da rede de estações de referência também envia para uma central de computação informações aproximadas da sua posição geodésica, via mensagem NMEA. Esta central de computação calcula correções de pseudodistância, ionosfera, troposfera e órbita, assim como os efeitos de multicaminho e variação do centro de fase da antena (PCV), para cada estação de referência englobando as correções interpoladas para uma estação de referência virtual, a qual se localiza próxima a estação móvel. A distância entre as estações virtual e móvel define uma linha de base curta, para a qual há uma melhor resolução das ambigüidades e conseqüentemente melhores precisões serão alcançadas. Estas medidas virtuais são únicas para cada estação móvel e transmitidas via RTCM tipo 18/19 ou RTCM tipo 20/21. Neste conceito é necessário empregar-se um sistema de comunicação de duplo sentido, podendo restringir o número de usuários (EULER, et. al., 2001).

FIGURA 03 – CONCEITO DE POSICIONAMENTO DIFERENCIAL VRS



Neste trabalho apresenta-se a determinação de coordenadas geodésicas com os conceitos FKP e VRS, em uma área teste definida dentro do estado federativo de Baden-Württemberg na Alemanha. Apresenta-se também uma análise baseada na comparação das coordenadas geodésicas obtidas com estes conceitos de posicionamento em tempo real.

5. METODOLOGIA

5.1. ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está compreendida na região noroeste do estado federativo de Baden-Württemberg, na Alemanha, abrangendo a rede formada pelas estações de referência de Karlsruhe, Stuttgart, Heidelberg e Heilbronn (FIGURA 04). As distâncias entre estas estações de referência são da ordem de 40 à 77 km (TABELA 02). Os pontos, cujas coordenadas geodésicas são conhecidas com precisão para a realização dos levantamentos, foram definidos em locais de interesse da *Landesvermessungsamt*.

FIGURA 04 – REDE DE ESTAÇÕES DE REFERÊNCIA DA ÁREA DE ESTUDO (SAPOS, 2002 MODIFICADO)

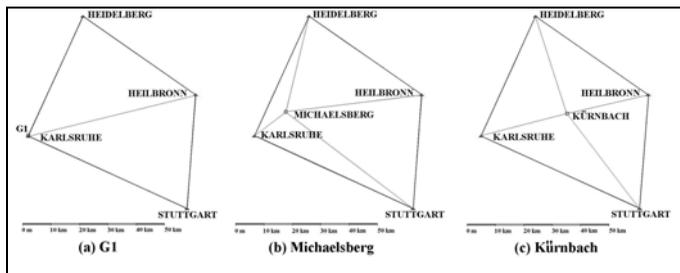


TABELA 02 – DISTÂNCIA ENTRE AS ESTAÇÕES DE REFERÊNCIA DA REDE DA ÁREA DE ESTUDO

	Heidelberg	Heilbronn	Karlsruhe	Stuttgart
Heidelberg	-	48,4 km	46,2 km	76,8 km
Heilbronn	48,4 km	-	60,6 km	40,1 km
Karlsruhe	46,2 km	60,6 km	-	61,4 km
Stuttgart	76,8 km	40,1 km	61,4 km	-

Os pontos posicionados com estas técnicas foram o ponto G1 (pilar NPF1) localizado no Observatório da Universidade de Karlsruhe, que dista 28 metros da Estação de Referência de Karlsruhe (Figura 05-a); o ponto de Michaelsberg (subterrâneo), que dista 14 km da estação de Referência de Karlsruhe (Figura 05-b) e o ponto de Kümbach (subterrâneo), que dista 29 km da estação de referência de Heilbronn (Figura 05-c).

FIGURA 05 – LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS



5.2. MATERIAIS E EQUIPAMENTOS

Foram realizados 3 levantamentos de campo, sendo um por dia (item 5.3). Em todos os levantamentos foram empregados equipamentos para posicionamentos em tempo real, sendo: um receptor SR-530 da Leica, um coletor TR-500 e a antena GPS cinemática AT-502. Medições da altura da antena vertical foram calculadas a partir de medições com nível Zeiss. O sistema de comunicação empregado na área de estudo foi o GSM (Sistema Global para Comunicação Móvel - *Global System for Mobile Communication*), no modo contínuo e no modo descontínuo.

5.3. COLETA DOS DADOS

A coleta das soluções em tempo real na técnica FKP foi realizada em 10 seções de observação contínua (acrescentada de mais 10 seções de observação descontínua) com uma duração de 5 segundos cada e realizou-se mais 10 seções, com a mesma especificação, na técnica VRS. Posteriormente realizou-se estas coletas com uma duração de 30 segundos. Foram consideradas também a geometria e a quantidade de satélites, sendo realizados levantamentos em boa e em má condições. A TABELA 03 apresenta o esquema para a coleta das soluções em tempo real.

TABELA 03: ESQUEMA PARA A COLETA DAS SOLUÇÕES EM TEMPO REAL

FKP – Boa Condição e Má Condição			
	Messdach	Michaelsberg	Kürnbach
05 s Contínuo	10 seções	10 seções	10 seções
05 s Descontínuo	10 seções	10 seções	10 seções
30 s Contínuo	10 seções	10 seções	10 seções
30 s Descontínuo	10 seções	10 seções	10 seções
VRS – Boa Condição e Má Condição			
	Messdach	Michaelsberg	Kürnbach
05 s Contínuo	10 seções	10 seções	10 seções
05 s Descontínuo	10 seções	10 seções	10 seções
30 s Contínuo	10 seções	10 seções	10 seções
30 s Descontínuo	10 seções	10 seções	10 seções

Os dados foram coletados a uma taxa de atualização de um segundo, velocidade de transmissão dos dados de 9.600 bits/s e com quinze graus de elevação.

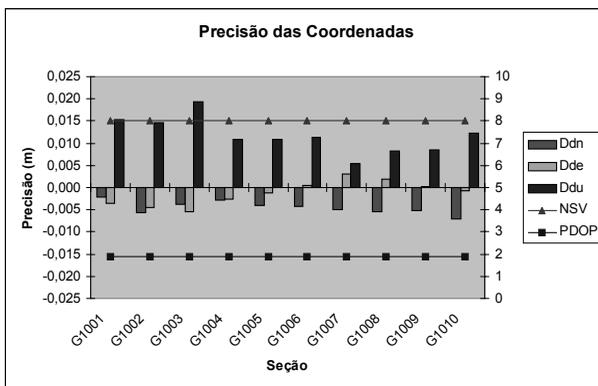
Foram registrados durante os levantamentos a hora de coleta dos dados, o conceito aplicado, o nome do ponto, o tempo de conexão com a central computacional, o número de satélites rastreados, o valor de PDOP (Diluição da Precisão para Posicionamento Tridimensional), a precisão tridimensional antes da resolução das ambigüidades, o tempo para a resolução das ambigüidades e a precisão após a resolução das ambigüidades.

6. RESULTADOS

Os dados coletados em tempo real foram armazenados no receptor e através do programa *Ski-Pro* da *Leica*, foi possível também realizar a transferência dos dados para trabalhar em planilha eletrônica. Mediante os dados anotados em caderneta de campo mais os coletados em campo pelo coletor, elaborou-se tabelas de comparação com as coordenadas precisas conhecidas.

No GRÁFICO 01, foram agrupados: as diferenças entre coordenadas locais (Ddn, Dde, Ddu), valores de PDOP e número de satélites (NSV) de cada seção. A técnica utilizada para a obtenção deste resultado foi o FKP, com observação contínua (uma única conexão para a coleta das 10 seções) com seções de 5 segundos. As precisões das coordenadas do ponto foram obtidas a partir da diferença entre as coordenadas locais precisas e conhecidas e as obtidas em tempo real, em relação a estação de referência mestra.

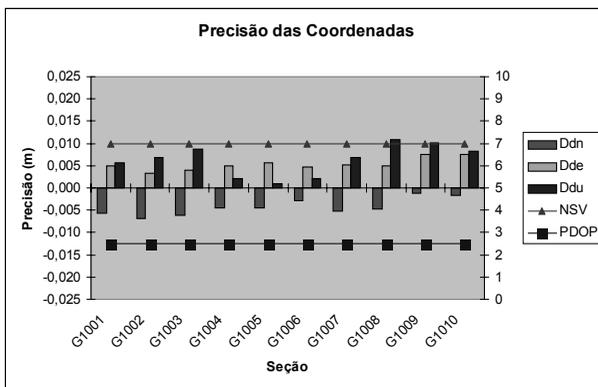
GRÁFICO 01 – DIFERENÇAS ENTRE AS COORDENADAS LOCAIS CONHECIDAS E AS OBTIDAS DO PONTO G1 EM TEMPO REAL UTILIZANDO O CONCEITO FKP COM OBSERVAÇÃO CONTÍNUA DE SEÇÕES DE 5 SEGUNDOS, NÚMERO DE SATÉLITES E VALORES DE PDOP



Percebe-se no GRÁFICO 01 que as componentes das diferenças de altitude Ddu, são maiores que as componentes das diferenças planimétricas Ddn e Dde. Observa-se que a quantidade de número de satélites e valores de PDOP permaneceram constantes sendo que eles compõem uma boa configuração para o estudo. A precisão obtida está de acordo com a especificação do serviço DGPS SAPOS[®] HEPS (1 a 5 cm). Um fator favorável a este resultado está no fato de que a estação móvel localiza-se próxima a estação de referência mestra, isto é, a aproximadamente 28 metros.

O GRÁFICO 02 apresenta os resultados obtidos de forma similar ao Gráfico 01, porém utilizando o conceito VRS, com observação contínua de seções de 5 segundos.

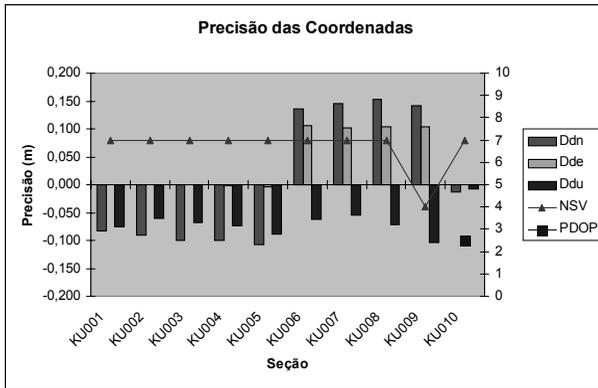
GRÁFICO 02 – DIFERENÇA ENTRE AS COORDENADAS LOCAIS CONHECIDAS E AS OBTIDAS DO PONTO G1 EM TEMPO REAL UTILIZANDO O CONCEITO VRS COM OBSERVAÇÃO CONTÍNUA DE SEÇÕES DE 5 SEGUNDOS, NÚMERO DE SATÉLITES E VALORES DE PDOP



Verifica-se no GRÁFICO 02 que os resultados obtidos utilizando o conceito VRS foram melhores do que com o FKP, principalmente em relação a componente de altitude Ddu.

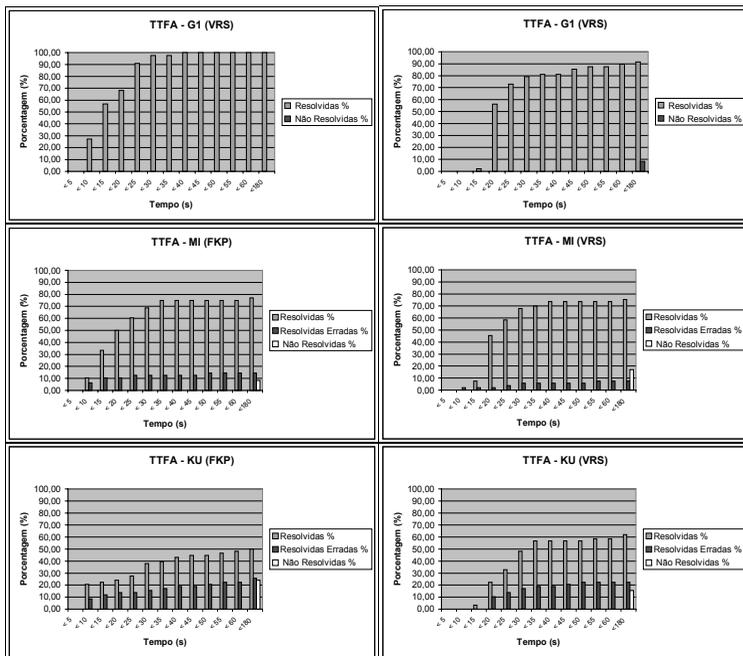
Comparando com os demais gráficos gerados, verificou-se que as principais diferenças estão ligadas quanto ao tipo do conceito aplicado. Na maioria dos resultados, o conceito VRS apresentou melhores resultados do que com o conceito FKP. Quanto ao tempo de coleta dos dados, observações de 5 segundos como observações de 30 segundos, obtiveram resultados similares. Através da análise do valor de PDOP e do número de satélites, verificou-se que estes valores influenciaram nos resultados. Como pode ser visto no GRÁFICO 03, a entrada ou saída de um ou mais satélites ou a própria falta de condição mínima de satélites a serem observados, prejudicaram a obtenção dos resultados esperados.

GRÁFICO 03 – INFLUÊNCIA DO NÚMERO DE SATÉLITES NO LEVANTAMENTO



Em uma outra etapa foram realizados histogramas do tempo de fixação de ambiguidades (GRÁFICO 04).

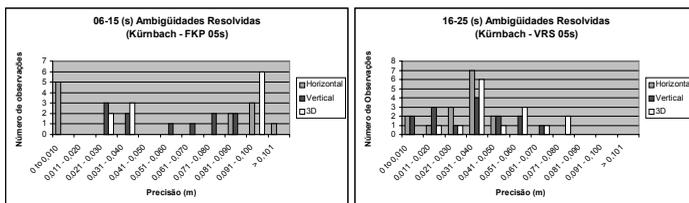
GRÁFICO 04 – HISTOGRAMAS DO TEMPO DE FIXAÇÃO DE AMBIGUIDADES (TTFA)



Através dos histogramas apresentados no GRÁFICO 04, verificou-se que o tempo de fixação das ambigüidades (TTFA) foi menor para os primeiros 15 segundos para o conceito FKP, contudo em alguns casos verificou-se que ele foi menor para os primeiros 10 segundos. Já com o conceito VRS o TTFA deu-se num intervalo de 15 a 20 segundos. A partir de 20 segundos, tanto o FKP como o VRS apresentaram um comportamento semelhante. Foi possível verificar que a medida que a estação móvel se afasta da estação de referência em direção ao centro da rede de estações de referência, o número das ambigüidades resolvidas decresce, elevando o número das ambigüidades resolvidas erradas e não resolvidas.

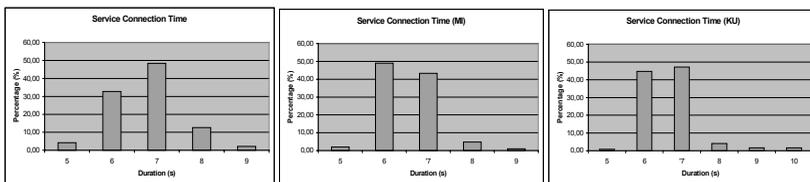
Outro fator analisado foi a precisão do ponto levantado com relação ao tempo de fixação das ambigüidades. Para os pontos em Michaelsberg e Kürnbach, verificou-se com o conceito FKP, que apesar de haver a resolução das ambigüidades em um menor tempo (de 6 a 15 segundos) a precisão dos pontos foi menor (GRÁFICO 05). Por outro lado, com o conceito VRS a precisão foi maior para um TTFA maior (16 a 25 segundos).

GRÁFICO 05 – HISTOGRAMA DA PRECISÃO DO PONTO LEVANTADO COM RELAÇÃO AO TTFA.



Verificou-se que com uma conexão contínua ou descontínua entre as estações de referência e móvel, via GSM, não houveram grandes diferenças no tempo de conexão ao serviço. Em todos os casos grande parte das conexões gastaram em torno de 6 a 7 segundos (GRÁFICO 06).

GRÁFICO 06 – TEMPO DE CONEXÃO AO SERVIÇO SAPOS® HEPS, VIA GSM



7. CONCLUSÕES

Medições com precisão ao nível centimétrico (abaixo de 5 cm) são possíveis de serem obtidas empregando os conceitos FKP e VRS, em tempo real, com coleta de dados de 5 segundos, para uma rede de estações de referência que distam de 40 à 77 km. Porém, para se obter esta precisão, um bom planejamento de campo deve ser realizado. A entrada e a saída de um ou mais satélites, quantidade mínima de satélites exigida e também altos valores de PDOP, prejudicam na qualidade dos levantamentos na área abrangente. Problemas de resolução das ambigüidades podem ocorrer a medida que a estação móvel se direciona para o centro da rede de estações de referência.

O conceito FKP possibilita uma rápida resolução das ambigüidades porém com menor precisão em relação ao conceito VRS. Provavelmente o modelo aplicado ao FKP esteja influenciando na resolução das ambigüidades.

A comunicação via GSM apresentou resultados similares nos três pontos em estudo na área de abrangência da rede de estações de referência.

Comparação entre levantamentos utilizando outros equipamentos para o posicionamento devem ser investigados.

8. REFERÊNCIAS

AdV: Bericht der Expertengruppe GPS-Referenzstationen im Arbeitskreis Grundlagenvermessung. **AdV**. Alemanha. p. 7, maio 1998.

EULER, H.-J.; KEENAN C. R.; ZEBHAUSER B. E.; WÜBBENA G. **Study of a Simplified Approach in Utilizing Information from Permanent Reference Station Arrays**. Presented at ION GPS 2001, 11 a 14 Set. 2001, Salt Lake City, Utah. Disponível em: <http://www.geopp.de/publikationen/1st_gnnt.htm>. Acesso em: 07 nov. 2002.

WANNINGER, L. **Improved ambiguity resolution by regional differential modelling of the ionosphere**. Proceedings of ION GPS-95, Palm Springs, 12 a 15 Set. 1995, pp. 55-62. Disponível em: <<http://www.wasoft.de/virt/pub/inhalt.html>>. Acesso em: 03 dez. 2002.

WANNINGER, L. **Real-Time Differential GPS Error Modelling in Regional Reference Station Networks**. Proceedings of the IAG Scientific Assembly, Rio de Janeiro, Set. 1997, IAG Symposia 118, Springer Verlag, 86-92. Disponível em: <<http://www.wasoft.de/virt/pub/inhalt.html>>. Acesso em: 03 dez. 2002.

WANNINGER, L. **The Performance of Virtual Reference Stations in Active Geodetic GPS-networks under Solar Maximum Conditions**. Proc. ION GPS 99, Nashville TN, 1419-1427. Disponível em: <<http://www.wasoft.de/virt/pub/inhalt.html>>. Acesso em: 03 dez. 2002.

WANNINGER, L. **Virtual Reference Stations for Centimeter-Level Kinematic Positioning**. Presented at ION GPS 2002, Portland, Oregon, 24 a 27 Set. 2002. Disponível em: <<http://www.wasoft.de/virt/pub/inhalt.html>>. Acesso em: 03 dez. 2002.

WÜBBENA, G.; BAGGE, A.; SCHMITZ, M. **Network-Based Techniques for RTK Applications**. Presented at the GPS Symposium, GPS JIN 2001, GPS Society, Japan Institute of Navigation, 14 a 16 Nov. 2001, Tokyo, Japan. Disponível em: <http://www.geopp.de/publikationen/lst_gnnt.htm>. Acesso em: 07 nov. 2002.

WÜBBENA, G.; BAGGE, A.; SEEGER, G.; BÖDER, V.; HANKEMEIER, P. **Reducing Distance Dependent Errors for Real-Time Precise DGPS Applications by Establishing Reference Station Networks**. Proceedings of the International Technical Meeting, ION GPS-96, Kansas City, Missouri, 1845-1852. Disponível em: <http://www.geopp.de/publikationen/lst_gnnt.htm>. Acesso em: 07 nov. 2002.

WÜBBENA, G.; WILLGALIS, S. **State Space Approach for Precise Real Time Positioning in GPS Reference Networks**. Presented at International Symposium on Kinematic Systems in Geodesy, Geomatics and Navigation, KIS-01, Banff, 5 a 8 Jun. 2001. Canada. Disponível em: <http://www.geopp.de/publikationen/lst_gnnt.htm>. Acesso em: 07 nov. 2002.

SAPOS[®]. SAPOS. Disponível em: <<http://www.sapos.de>>. Acesso em: 23 out. 2002.

Wasoft. Wasoft. <<http://www.wasoft.de>>. Acesso em: 09 dez. 2002.

9. AGRADECIMENTOS

Agradeço pela incansável atenção dos professores, doutores, funcionários e alunos de graduação tanto da Universidade de Karlsruhe, SAPOS[®] e da Universidade Federal do Paraná na realização deste trabalho.

Agradecimentos especiais a:

- *Geodätischen Institut (GIK) – Universität Karlsruhe (TH) - Alemanha*
Prof. Dr. -Ing. Bernhard Heck
Dr. -Ing. Kurt Seitz
- SAPOS[®] - *Satellitenpositionierungsdienst der deutschen Landesvermessung*
Landesvermessungsamt Baden-Württemberg - Alemanha
Dipl. -Ing. Heiner Derenbach
- Departamento de Geomática – Universidade Federal do Paraná
Profa. Dra. Cláudia Pereira Krueger
- CAPES/DAAD – Projeto UNIBRAL – GEOMACK

ANÁLISES TEMPORAIS DAS VARIAÇÕES DA LINHA DE COSTA E VOLUMÉTRICA DO ISTMO DA ILHA DO MEL

Wilson Anderson Holler¹
Christian Pitz²
Cláudia Pereira Krueger³
Bernhard Heck⁴

- 1 Universidade Federal do Paraná – wilholler@hotmail.com
- 2 Universitaet Karlsruhe / Alemanha – pitchr@gik.uni-karlsruhe.de
- 3 Universidade Federal do Paraná – ckrueger@cce.ufpr.br
- 4 Universitaet Karlsruhe / Alemanha – heck@gik.uni-karlsruhe.de

RESUMO

A Ilha do Mel constitui-se de uma região de grande interesse turístico e econômico para o estado do Paraná. Desde 1996, ela têm sido motivo de maior interesse, tanto da imprensa quanto do meio acadêmico científico, devido a erosão e acreção que o istmo e o banco de areia próximo ao farol das conchas estão sofrendo, bem como a progradação e a retrogradação das linhas de costa. A separação da Ilha em duas porções poderá mudar a desembocadura da baía de Paranaguá, afetando as condições de acesso ao porto de Paranaguá, além de causar prejuízos aos moradores da área afetada. Na década de 90, iniciaram-se estudos geodésicos no litoral paranaense, baseados no posicionamento utilizando técnicas espaciais. Neste contexto, algumas pesquisas foram e estão sendo desenvolvidas na Ilha do Mel. Neste trabalho apresentam-se as análises temporais das variações das linhas de costa e o cálculo das variações volumétricas do istmo da ilha, compondo um estudo geodésico obtendo soluções precisas com o uso do *Global Positioning System* (GPS). Foram realizados levantamentos em seis diferentes épocas: 1996, 1997, 1998, 1999, 2001 e 2003. As informações obtidas no trabalho possibilitaram a construção de uma base de dados que permitirá um debate sobre os riscos e problemas ambientais atuais, ou prospectivos para a comunidade e para o patrimônio público, provocadas por alterações geoambientais, climáticas ou ações antrópicas. Este estudo possibilita também a verificação das áreas em estudo que estão mais propensas a processos erosivos. Conhecendo-se as regiões mais afetadas pode-se planejar melhor o turismo para a região, evitando a construção de novas edificações próximas as regiões de influência erosiva. As análises indicam que o GPS é uma ferramenta importante e precisa em aplicações no âmbito marinho (regiões costeiras) mostrando-se de grande valia em monitoramentos de importância ambiental.

Palavras-chave: GPS; Linha de costa; Istmo.

ABSTRACT

The Ilha do Mel is considered as a region of major interest for the economy and the tourism of the federal state Paraná. Since 1996 this island receives a bigger interest by the media and the sciences because of the erosion- and progradation effects that influence the region. A separation of the island in two pieces will change the mouth of the river in the bay of Paranaguá and will also change the access conditions of the port of Paranaguá and cause prejudices for the people living in this area. In the decade of 90 a lot of geodetic studies were launched at the coast of Paraná based on special techniques of positioning. Considering this matter various scientific studies were and still are launched on the Ilha do Mel. The present work is a temporary analysis of the coastline variation and of the volumetric changes of the Isthmus of the Ilha do Mel composing a geodetic study in receiving precise solutions by using *Global Positioning System* (GPS). There were six different measurements realized in the epochs of 1996, 1997, 1998, 1999, 2001 and 2003. The information of this scientific work makes it possible to create a database that will permit a debate of the risks and of the present ambient problems or the prospects for the community and the public sponsor - provoked by the geoambient and climate alterations and by the human influence. This study also allows to verify the focused areas that are inclined by the erosion process. The knowledge where the affected areas are located improves the planning of a tourist infrastructure and avoids the construction of new houses near the erosion region. The analyses show the significance of GPS and its need in the marine applications monitoring erosion and progradation processes.

Keywords: GPS, Coastline, Istmo.

1. INTRODUÇÃO

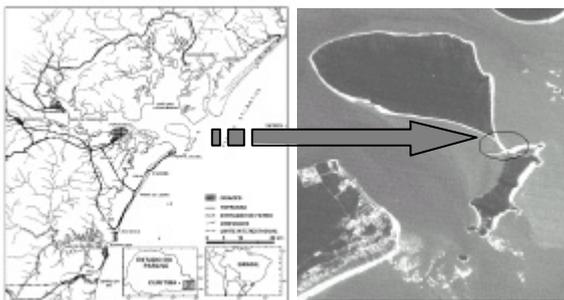
A Ilha do Mel constitui-se de uma região de grande interesse turístico e econômico para o estado do Paraná. A possível separação da Ilha em duas porções poderá mudar a desembocadura da bacia de Paranaguá, afetando as condições de acesso ao porto de Paranaguá, além de causar prejuízos aos moradores da área afetada. O objetivo deste trabalho é verificar as variações da linha de costa e volumétrica aproximada do istmo da Ilha do Mel em diferentes épocas. Efetuou-se um estudo geodésico, obtendo soluções precisas com o uso do *Global Positioning System* (GPS).

O estudo possibilita também a verificação das áreas em estudo que estão mais propensas a processos erosivos e de acreção ou de progradação e retrogradação. Conhecendo-se as regiões mais afetadas pode-se planejar melhor o turismo para a região, evitando a construção de novas edificações próximas às regiões de influência erosiva. A construção de uma base de dados com essas informações permite um debate permanente sobre os riscos e problemas ambientais atuais, ou prospectivos para a comunidade e para o patrimônio público, de determinadas atividades humanas ou de fatores naturais induzidos ou não, provocado por alterações geoambientais.

2. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A Ilha do Mel situa-se no Litoral do estado do Paraná na entrada da baía de Paranaguá, a Ilha consiste de duas regiões: uma região maior a noroeste e outra menor a sudeste essas ligadas por um istmo. Ao norte e a nordeste a Ilha do Mel é separada da Ilha das Peças pelos canais Norte e Sudeste. Ao sul separa-se de Pontal do Sul (continente) pelo canal sul ou da Galheta. A região ocidental da Ilha é banhada pelas águas da baía de Paranaguá no local conhecido como mar de dentro ou saco de Limoeiro, por sua vez a região oriental é banhada pelo oceano Atlântico. A superfície estimada da Ilha é de 27 km² e seu perímetro é da ordem de 36,5 km. A figura 01 mostra a região.

FIGURA 01 - ÁREA DE ESTUDO



FONTE: ADAPTADA DE (KRUEGER, et. al., 2002, P. 2)

3. MATERIAIS E MÉTODOS:

Os receptores GPS utilizados foram Ashtech ZXII com duas portadoras (L1 e L2), em alguns levantamentos empregaram-se o receptor Trimble 4000SSi, com dupla frequência e o receptor Reliance que opera com 12 canais paralelos, possui portadora L1 e o código C/A.

O método de posicionamento empregado nos levantamentos foi o relativo, o qual possui diferentes técnicas dentre as quais empregou-se: a cinemática. O posicionamento relativo cinemático baseia-se na utilização de uma estação base (de referência ou fixa) e no deslocamento contínuo de um ou mais equipamentos itinerantes (móveis), com obtenção em tempo real ou pós-processada das coordenadas dos pontos ocupados, possibilitando uma aquisição mais rápida dos dados. A estação base foi instalada sobre um dos marcos percententes à rede geodésica local implantada no litoral Paranaense, no ano de 1999. A estação móvel caracteriza-se por uma pessoa percorrendo as linhas de costa e os perfis longitudinais e transversais levantados sobre a área do istmo desta ilha. O programa empregado para o processamento dos dados GPS coletados nos diferentes levantamentos foi o *Ashtech Solutions*. Nas análises qualitativas das soluções obtidas levou-se em consideração os valores alcançados para o RMS (Root Mean Square).

As coordenadas geodésicas obtidas no sistema WGS-84 foram convertidas para o sistema de projeção UTM possibilitando comparações da variação da linha de costa e do volume no istmo da Ilha do Mel. A conversão dos dados obtidos no sistema de coordenadas WGS-84 para UTM foi efetuada no programa UTM.exe (Sejas, 2002).

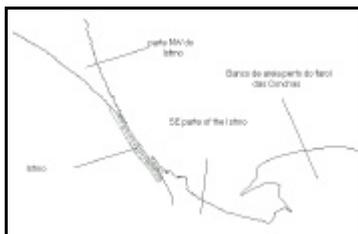
Nesse sistema de projeção realizou-se uma comparação das soluções geradas para as épocas com os diversos levantamentos das linhas de costa no programa *AutoCad*. As soluções geodésicas obtidas para o istmo também foram inseridas no programa *Surfer*, possibilitando à análise das diferenças volumétricas entre as épocas levantadas. O comprimento da linha de base é de 5.800 m.

4. ANÁLISES

4.1 FILTRAGEM DAS SOLUÇÕES GERADAS

Na figura 02 observa-se a área em estudo com os elementos levantados desde 1996. Percebe-se a linha de costa a noroeste do istmo, a linha de costa a sudeste do istmo, o istmo da ilha do Mel e o banco de areia próximo ao farol das conchas.

FIGURA 02 – REPRESENTAÇÃO DA ÁREA.



No quadro 01 observa-se o número total de pontos gerados com o processamento dos dados coletados (descritos na seção 3) para cada um dos anos de levantamento. Levando-se em consideração os pontos com um RMS menores que 30 cm, foi realizada uma filtragem das soluções geradas excluindo os dados que extrapolavam esta restrição, assegurando uma confiabilidade maior para os mesmos.

QUADRO 01 – QUALIDADE DOS DADOS OBTIDOS.

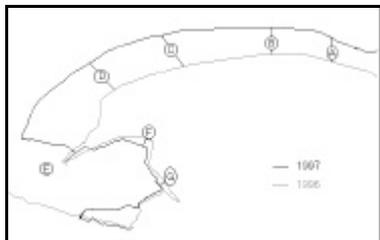
Ano	Total de pontos	Pontos com RMS < 30 cm	Porcentagem
1996	1266	885	69,91%
1997	3363	1871	55,63%
1998	4215	2094	49,68%
1999	5855	5515	94,19%
2001	1817	1795	98,79%
2003	6064	6026	99,37%

Analisando-se os resultados obtidos com a filtragem constata-se que nos levantamentos de 1997 e de 1998 a porcentagem de pontos com um RMS menor que 30 cm foi inferior a 56%. Para o ano de 1996 este valor encontra-se próximo a 70% e para os demais anos as porcentagens são superiores a 94%, mostrando a qualidade do posicionamento GPS nos levantamentos realizados. Cabe salientar que nos anos de 1996, 1997 e 1998 haviam mais obstruções nas proximidades das linhas levantada, ocasionando a degradação do sinal emitido pelos satélites. No ano de 1998, o levantamento foi realizado logo após uma ressaca, a qual ocasionou diversos obstáculos durante o levantamento para esse ano. Para o ano de 2003 haviam poucas edificações entorno da área levantada o que contribui para a qualidade do resultado.

4.2 ANÁLISE DA VARIAÇÃO DO BANCO DE AREIA

Na figura 02 observa-se claramente a localização do banco de areia em relação ao istmo da Ilha do Mel. Ele situa-se próximo ao farol das conchas. O posicionamento relativo cinemático deste banco foi realizado nos anos de 1996, 1997 e 2003. Foram realizadas comparações entre estes anos visando detectar as áreas que sofreram erosão e/ou acreção. Para tais adotou-se como referência o posicionamento realizado em 1996. Na figura 03 observa-se a representação deste banco posicionado em 1996 e em 1997, e na figura 04 para os anos de 1996 e 2003.

FIGURA 03 – BANCO DE AREIA 1996 E 1997.



QUADRO 02 – DISTÂNCIA DAS LINHAS.

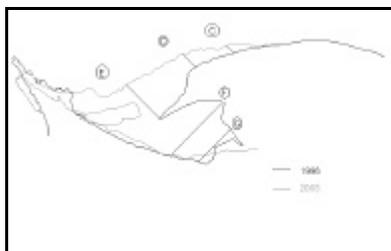
Linha	Distância
A	53,41 m
B	67,03 m
C	84,87 m
D	94,28 m
E	116,28 m
F	23,24 m
G	45,99 m

QUADRO 03 – COORDENADAS DOS PONTOS TOMADOS COMO REFERÊNCIA.

1996 - Banco de Areia		
Ponto Inicial da Linha	E (m)	N (m)
C	771466,2405	7172505,6322
D	771355,3990	7172466,2986
E	771237,2654	7172295,8530
F	771445,8223	7172346,8410
G	771470,6158	7172257,9762

Analisando-se a figura 03 verifica-se que entre os anos de 1996 à 1997 o banco de areia sofreu uma acreção. Visando realizar-se uma análise quantitativa escolheu-se algumas coordenadas gerando pontos de referência, conforme listadas no quadro 03. As distâncias calculadas a partir dos pontos iniciais das linhas A à G entre as duas representações (1996 / 1997) constam no quadro 02. Elas variam de 23,24m até 116,28m.

FIGURA 04 – BANCO DE AREIA 1996 - 2003.



QUADRO 04 – DISTÂNCIA 1996 - 2003.

Linha	Distância
C	30,34 m
D	57,06 m
E	155,62 m
F	241,21 m

Verifica-se que entre os anos de 1996 à 2003 o banco de areia sofreu uma acreção (figura 04). A análise quantitativa foi realizada da mesma forma que o descrito anteriormente. As distâncias calculadas a partir dos pontos iniciais das

linhas C à F entre as duas representações (1996 / 2003) constam no quadro 04. Elas variam de 30,34m até 241,21m.

Constata-se que este banco sofreu uma acreção para nas duas representações.

4.3 ANÁLISE DA VARIAÇÃO DA LINHA DE COSTA

Para se analisar as variações das linhas de costa faz-se necessário inicialmente defini-lá: ela é uma feição morfológica que pode sofrer progradação ou retrogradação. Neste trabalho adota-se como sendo o limite entre a vegetação e a areia.

A verificação da variação das linhas de costa entre as épocas 1996, 1997, 1998, 1999, 2001 e 2003 da região próxima ao istmo da Ilha do Mel foi realizada com coordenadas geodésicas obtidas no sistema de projeção UTM, sendo posteriormente inseridas no programa *AutoCad*. Somente os dados filtrados (seção 4.1) foram utilizados na comparação. Com os recursos disponíveis no programa *AutoCad* foi possível quantificar a variação da linha de costa, verificando se houve progradação ou retrogradação influenciando a paisagem nesta região.

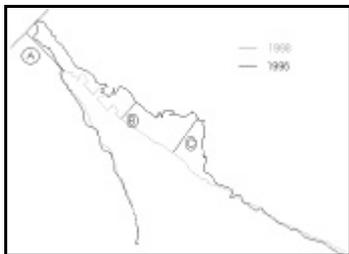
Como a variação da linha de costa não é constante escolheu-se algumas coordenadas definindo pontos, os quais permitiram quantificar a progradação e/ou a retrogradação ocorrida. No quadro 05 apresenta-se as coordenadas para a linha sudeste, as quais foram definidas a partir da solução de 1996.

QUADRO 05 – COORDENADAS DOS PONTOS TOMADOS COMO REFERÊNCIA.

1996 - Linha Sudeste		
Ponto inicial da linha	E (m)	N (m)
A	770747,0222	7172495,5085
B	770860,5680	7172403,9015
C	770932,6260	7172384,2714

As análises da linha de costa sudeste do istmo foram realizadas adotando-se como referência a linha posicionada em 1996, conforme percebe-se na figuras 05, 06 e 07. Nestas figuras apresentam-se as comparações realizadas da linha de costa gerada com as soluções de 1996 com as de 1998 (figura 05), de 2001 (figura 06) e de 2003 (figura 07). Na figura 05 percebe-se que houve uma retrogradação, principalmente nos pontos considerados. No quadro 06 verifica-se que houve maior retrogradação para os pontos A e C sendo da ordem de 58m e de 48m, respectivamente.

FIGURA 05 – LINHA SUDESTE 1996 – 1998.

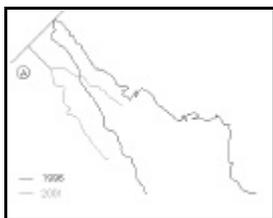


QUADRO 06 – DISTÂNCIA 1996 - 1998.

Linha	Distância
A	57,99 m
B	24,34 m
C	48,02 m

Analisando-se a figura06 constata-se que houve um deslocamento da linha de costa sudeste em direção ao continente e uma retrogradação de 39,02m para o ponto A, conforme quadro 07. Esta representação refere-se aos anos 1996 e 2001.

FIGURA 06 – LINHA SUDESTE 1996 – 2001.

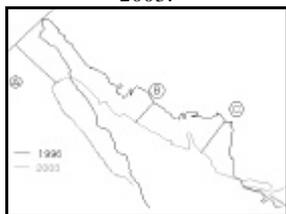


QUADRO 07 – DISTÂNCIA 1996 - 2001.

Linha	Distância
A	39,02 m

A representação referente aos anos de 1996 e 2003 encontra-se na figura 07. Constata-se que o deslocamento da linha de costa sudeste em direção ao continente persiste e que houve uma retrogradação de 59,96 para o ponto A. O mesmo ocorre para os pontos B e C (quadro 08).

FIGURA 07 – LINHA SUDESTE 1996 – 2003.

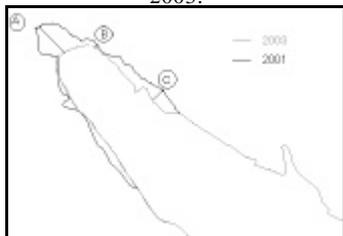


QUADRO 08 – DISTÂNCIA 1996 - 2003.

Linha	Distância
A	59,96 m
B	28,18 m
C	43,11 m

Na figura 08 apresenta-se a representação da linha de costa sudeste posicionada nos anos de 2001 e 2003. Percebe-se que nos pontos A à C também houve uma retrogradação, que continua a ser mais acentuada no ponto A

FIGURA 08 – LINHA NOROESTE 2001 – 2003.



QUADRO 09 – DISTÂNCIA 2001 - 2003.

Linha	Distância
A	22,99 m
B	2,67 m
C	8,25 m

Analisando-se as figuras 05 à 07 verifica-se que o ponto A é o que mais sofreu retrogradação, entre os anos de 1996 à 2003. A partir de 2001 percebe-se claramente um deslocamento da linha de costa sudeste em direção ao continente.

Para a linha de costa noroeste do istmo da ilha do mel as comparações foram realizadas adotando-se como referência a linha posicionada em 1997. Nas figuras 09, 10 e 11 observa-se as representações das linha de referência com as soluções geradas e filtradas para os anos de 1998, 2001 e 2003, respectivamente. De forma semelhante ao realizado para a linha de costa sudeste, escolheu-se para a linha de costa noroeste algumas coordenadas definindo pontos, os quais permitiram quantificar a progradação e/ou a retrogradação ocorrida. No quadro 10 apresenta-se as coordenadas UTM para a linha noroeste, as quais foram definidas a partir da solução de 1997.

QUADRO 10 – COORDENADAS DOS PONTOS TOMADOS COMO REFERÊNCIA.

1997 - Linha Noroeste		
Ponto inicial da linha	E (m)	N (m)
A	770607,0152	7172671,3002
B	770572,2259	7172744,5074
C	770538,3642	7172815,3979

Na figura 09 observa-se a representação da linha de costa noroeste posicionada nos anos de 1997 e 1998. Percebe-se que nos pontos A à C também houve uma retrogradação de valores próximos a 10m.

FIGURA 09 – LINHA NOROESTE 1997 – 1998.



QUADRO 11 – DISTÂNCIA 1997 - 1998.

Linha	Distância
A	10,65 m
B	10,23 m
C	9,91 m

A representação da linha de costa noroeste posicionada nos anos de 1997 e 2001 encontra-se na figura 10. Percebe-se que houve uma retrogradação no ponto A da ordem de 18m (quadro 12) e que está ocorrendo um deslocamento em direção ao continente.

FIGURA 10 – LINHA NOROESTE 1997 – 2001.

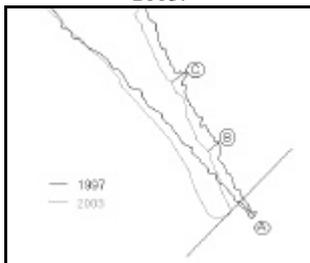


QUADRO 12 – DISTÂNCIA 1997 - 2001.

Linha	Distância
A	18,46 m

Na figura 11 observa-se a representação da linha de costa noroeste posicionada nos anos de 1997 e 2003. Constata-se um deslocamento em direção ao continente, uma retrogradação nos pontos analisados (quadro 13), bem como em toda região ocidental.

FIGURA 11 – LINHA NOROESTE 1997 – 2003.



QUADRO 13 – DISTÂNCIA 1997 - 2003.

Linha	Distância
A	19,24 m
B	13,46 m
C	18,46 m

Analisando-se as figuras 09 à 11 verifica-se que o ponto A é o que mais sofreu retrogradação, entre os anos de 1997 à 2003. O ponto C apresentou uma diferença significativa entre 1998 e 2003 (de 8,55m), adotando-se como referência o ano de 1997. A partir de 2001 percebe-se claramente um deslocamento da linha de costa noroeste em direção ao continente.

4.3 ANÁLISE DA VARIAÇÃO VOLUMÉTRICA DO ISTMO

Para o processo de visualização dos MDT e avaliação das variações volumétricas ocorridas no istmo da Ilha do Mel, foram utilizados os recursos do software SURFER na versão 7. No caso dos levantamentos do istmo da Ilha do Mel tanto a quantidade de amostras, bem como sua distribuição espacial mostrou-se satisfatórias para os anos de 1997, 2001 e 2003. Para este trabalho emprega-se como interpolador o inverso da distância. Os levantamentos executados consistiram em levantar perfis longitudinais e transversais de maneira a formar uma grade sobre a superfície do istmo.

A primeira etapa para geração dos MDT consistiu na transformação das coordenadas geográficas latitude (ϕ), longitude (λ) e altitude (h) no sistema de referência WGS-84 fornecidas pelo programa Ashtech Solutions, para o sistema de projeção UTM, visando-se o cálculo a ser efetuado com o programa SURFER cujos dados de saída encontram-se em unidades cúbicas.

A resolução utilizada nas grades foi de 5m para E e 5m para N. Estes valores foram estabelecidos partindo-se da coleta dos dados GPS em campo que foi realizada com uma taxa de gravação dos dados igual a 3s, com o usuário se deslocando a uma velocidade de 5km/h, resultando numa distância entre os pontos de aproximadamente 5m.

Optou-se pela geração de grades regulares porque os levantamentos foram realizados em anos distintos 1997, 2001 e 2003 e também pelo fato de que devido às próprias variações naturais e temporais na área em estudo, não foi possível percorrer exatamente os mesmos pontos, ou seja, realizar a mesma trajetória, apesar de ter-se aplicado o mesmo procedimento de campo. Desta maneira, para gerar os MDT das épocas em estudo definiu-se as superfícies “equivalentes” limitando a área de interesse (através dos arquivos chamados *blanked* ou vazios), cujas coordenadas no sistema de projeção UTM encontram-se no quadro 14. De posse de um novo arquivo grade gerado, o qual apresenta uma área mais coerente com a área real ou verdadeira foi possível calcular os volumes aproximados. Foi adotada altitude zero.

Em se tratando do Istmo da Ilha do Mel cabe esclarecer, que ainda não foram realizados trabalhos de nivelamento geométrico nessa área, logo não se possui informações de pontos com altitude ortométrica conhecida. Tendo em vista estes aspectos, optou-se pela geração dos MDT, mapas de isolinhas e cálculo dos volumes com altitudes geométricas fornecidas pelo GPS. Como a avaliação dos volumes é

relativa, ou seja, é analisado se houve erosão e/ou acreção entre as diferentes épocas, a superfície de referência adotada não afeta a análise final.

QUADRO 14: EXTREMOS CONSIDERADOS PARA A ANÁLISE

Limites	N	E	H
Superior esquerdo:	7172700,000	770527,000	0
Inferior direito:	7172400,000	770810,000	0

A partir da geração de um mapa de contorno obteve-se a área para o ano de 1997, conforme figura 12. Na figura 13 percebe-se o MDT gerado para esse ano.

FIGURA 12: MAPA DE CONTORNO DELIMITADO DO ISTMO PARA O ANO DE 1997.

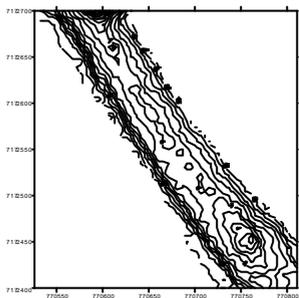
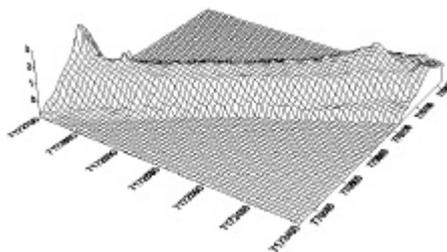


FIGURA 13: MDT PARA O ANO DE 1997.



Os algoritmos para calcular o volume utilizam todas as informações existentes na grade, então surge a necessidade de limitá-la. Através do mapa de contorno de 1997, definiu-se a área de maior interesse delimitando-a e tomando-a como referência (figura 12). A partir do MDT gerado para o ano de 1997, foi possível calcular o volume aproximado da área em estudo (quadro 15).

QUADRO 15: VALORES OBTIDOS PARA O ANO DE 1997

Volume m³	Área Total m²
14.310,000	84.900

Os volumes calculados com valores positivos significam estarem acima da altitude considerada, teoricamente são os volumes de corte.

Observa-se na figura 14 o mapa de contorno gerado para o ano de 2001, admitindo-se a mesma área considerada para o ano de 1997. O MDT gerado para esse ano está representado na figura 15.

FIGURA 14: REPRESENTAÇÃO DAS CURVAS DE NÍVEL PARA O ANO DE 2001

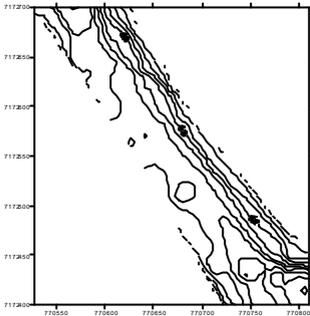
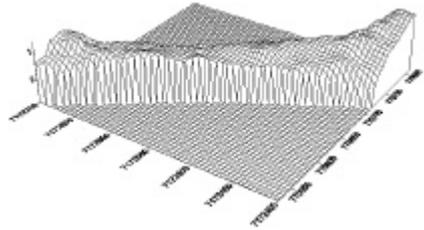


FIGURA 15: MDT PARA O ANO DE 2001



QUADRO 16: VALORES OBTIDOS PARA O ANO DE 2001

Volume m ³	Área Total m ²
15.720,000	84.900

Nota-se na figura 18 uma melhor representação para as curvas de nível geradas para o ano de 2003, isto se deve ao fato de que quase todos os pontos obtidos na solução apresentaram um RMS menor que 30cm. Possivelmente o MDT gerado (figura 19) representa melhor a área de estudo.

FIGURA 18: REPRESENTAÇÃO DAS CURVAS DE NÍVEL PARA O ANO DE 2003

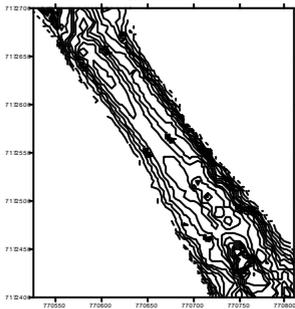
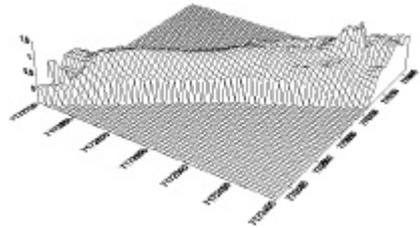


FIGURA 19: MDT PARA O ANO DE 2003.



QUADRO 17: VALORES OBTIDOS PARA O ANO DE 2003.

Volume m ³	Área Total m ²
14.640,000	84.900

No cálculo da diferença volumétrica foi utilizado o método da Regra dos Trapézios, o quadro 18 mostra os resultados obtidos entre o ano de referência 1997 e os anos de 2001 e 2003.

QUADRO 18: DIFERENÇA VOLUMÉTRICA DE 1997 EM RELAÇÃO AOS ANOS POSTERIORES.

Diferença Volumétrica m ³	2001 - 1997	1.410,000
	2003 - 1997	330,000
	2003 - 2001	-1.080,000

Percebe-se que comparando o ano de 1997 com 2001 houve uma diferença volumétrica de aproximadamente 1.410m^3 , ou seja, o volume de areia aumentou. A diferença volumétrica entre os anos de 1997 e 2003 foi de 330m^3 . Constata-se que caso houve uma acreção no istmo.

O quadro 18 mostra também a comparação utilizando a mesma área definida a partir do ano de 1997, mas comparando o ano de 2003 em relação ao ano de 2001. Nele percebe-se que houve uma erosão, isto não condiz com o fato de o istmo estar sofrendo somente acreção, mas também sofrendo erosão.

Os resultados obtidos nas diferenças volumétricas entre os anos considerados demonstram não haver uma erosão ou acreção constante entre as épocas. Há uma variação entre as épocas consideradas o que sugere um monitoramento constante da região em estudo.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o presente trabalho chega-se as seguintes conclusões:

- Constata-se que o banco de areia próximo ao farol das conchas sofreu uma acreção nas duas representações para as comparações dos anos 1997 e 2003 em relação ao ano de 1996;
- As análises das linhas de costa sudeste e noroeste sugerem um deslocamento da linha de costa em direção ao continente, sofrendo retrogradação;
- A construção de uma base de dados com as informações obtidas nesse trabalho possibilitou uma gestão eficaz e segura permitindo um debate permanente sobre os riscos e problemas ambientais atuais, ou prospectivos para a comunidade e para o patrimônio público;
- Este estudo detectou as áreas em estudo que estão mais propensas a processos erosivos, possibilitando um melhor planejamento para o turismo da região, evitando a construção de novas edificações próximas as regiões de influência erosiva.

5. REFERÊNCIAS

ASHTECH SOLUTIONS. **User's Guide**. Ashtech . USA, 2001.

KRUEGER, C. P. **Investigações sobre aplicações de alta precisão do GPS no âmbito marinho**. Curitiba, 1996. 267p. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas). Departamento de Geomática. Universidade Federal do Paraná.

KRUEGER, C. P.; PRADO, A.; SOARES, C. R.; PILATI, F. B.; CARRILHO, J. C.; KRÜEGER, M.; LAMOUR, M. **Performance dos receptores ASHTECH Reliance na determinação das coordenadas de feições na região da Ilha do Mel – PR**. Curitiba, 1997. Trabalho apresentado no Gis Brasil.

KRUEGER, C. P.; BÖDER, SEEBER; SOARES, C. R.; **Aplicações do DGPS Preciso em tempo real no âmbito marinho**. Revista Brasileira de Cartografia n°. 51. maio de 1999. p. 59-71.

KRUEGER, C. P. **Relatório internacional – projeto de pesquisa para uma cooperação entre Brasil e Alemanha. (Relatório Consolidado dos resultados)**. CNPQ/DLR. Curitiba, 2001, 81p.

KRUEGER, C. P. **Levantamentos no Litoral do Estado do Paraná com o GPS**. CNPQ/DLR. Curitiba, 2002. Trabalho apresentado no COBRAC 2002.

MÔNICO, J. F. G. **Posicionamento pelo NAVSTAR-GPS: Descrição, fundamentos e aplicações**. São Paulo: Editora UNESP, 2000, 287p.

VEIGA, L. A. K. **Topografia – Cálculo de Volumes**. Apostila, 2002. Departamento de Geomática. Universidade Federal do Paraná.

RELIANCE. **Office User's Guide**, Ashtech GIS / Reliance Systems USA, 1998.

SEJAS, M. I. **UTM.exe**: versão 1.0. Curitiba, 2002.

SURFER. **User's Guide**. Golden software Inc. USA, 1999

6. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a doutoranda Elaine Cristine Barros de Souza. As pessoas que direta ou indiretamente nos auxiliaram na conclusão deste trabalho. O autor Christian Pitz agradece a Capes/DAAD pela bolsa disponibilizada a qual permitiu a participação nesse trabalho.

ANÁLISE DA QUALIDADE DE UM POSICIONAMENTO EMPREGANDO ESTAÇÕES DE REFERÊNCIA VIRTUAIS

Mauricio Ihlenfeldt Sejas¹
Cláudia Pereira Krueger²
Bernhard Heck³
Kurt Seitz⁴

1 Universidade Federal do Paraná – mausejas@hotmail.com

2 Universidade Federal do Paraná – ckrueger@cce.ufpr.br

3 Karlsruhe Universität – heck@gik.uni-karlsruhe.de

4 Karlsruhe Universität – seitz@gik.uni-karlsruhe.de

RESUMO

Na Alemanha redes de estações de referência estão sendo implantadas para possibilitar aos usuários um posicionamento rápido e preciso. Sabe-se que com o emprego de informações de diversas estações GPS de referência é possível reduzir e modelar alguns erros, tais como: ionosféricos, troposféricos, órbita e efeito do multicaminho. Atualmente conta-se com dois conceitos distintos de posicionamento diferencial que aplicam as correções de redes de estações de referência, sendo o conceito ACP (*Area Corrections Parameters*) e o conceito VRS (*Virtual Reference Station*). Levantamentos de campo foram realizados no estado de Baden-Württemberg, na Alemanha, com o propósito de estudar a qualidade de um posicionamento pós-processado utilizando-se uma VRS. Neste trabalho serão apresentados alguns resultados obtidos através do processamento de linhas de base entre as estações de referência e as estações móveis e também aplicando o conceito de VRS.

Palavras-chave: VRS; ACP/FKP; Estações de Referência

ABSTRACT

Virtual reference stations are being used in Germany to provide users with a fast and precise positioning system. Knowing how to use the employment of information from several GPS reference stations, it is possible to reduce and to model some errors, like: ionosphere, troposphere, orbit and multipath. Nowadays there are two distinct concepts for differential positioning that apply corrections from reference

stations: the ACP concept (Area Corrections Parameters) and the VRS concept (Virtual Reference Station). Field measurements were made in Baden-Württemberg state, Germany, to study the quality of a positioning system using VRS in post processing mode. In this paper some results of base lines processed between the reference stations and the rover stations are showed, as well as applying the VRS concept.

Keywords : VRS; ACP/FKP; Reference Stations

1. INTRODUÇÃO

As técnicas empregadas atualmente para o posicionamento diferencial preciso, como o RTK, são bastante eficazes para linhas de base curtas. Porém à medida que a estação móvel se afasta da estação base, a qualidade do posicionamento é degradada devido principalmente a erros dependentes da distância (órbita, ionosfera e troposfera). Uma solução para evitar a degradação da qualidade desse levantamento seria empregar uma rede de estações de referência, a qual permite ao usuário se afastar mais do que com a técnica RTK sem perder a qualidade.

O emprego de redes de estações de referência permitem o modelamento e a redução de erros que afetam o posicionamento com uma linha de base, como os erros dependentes da estação e da distância.

Varios países estão desenvolvendo redes de estações de referência. Na Alemanha o SAPOS opera uma rede que fornece aos usuários a possibilidade de um posicionamento em tempo real ou no modo pós-processado.

No final do ano 2002 foram realizados levantamentos de campo na Alemanha, junto ao Instituto de Geodésia da Universidade de Karlsruhe, que através de um programa conjunto de parcerias binacionais entre instituições de Ensino Superior visa promover o intercâmbio e a cooperação no ensino e na pesquisa (UNIBRAL).

Os levantamentos de campo realizaram-se em uma área limitada por quatro estações GPS permanentes do SAPOS. Os dados coletados foram processados por meio de dois programas, sendo que um deles gera estações de referência virtuais.

Neste trabalho apresenta-se os resultados obtidos com o processamento das linhas de base formadas entre as estações de referência SAPOS e as estações móveis, bem como com o processamento de linhas de base formadas entre as estações virtuais (VRS) e as estações móveis .

2. SAPOS

O SAPOS (*Satellite Positioning System*) é um sistema público na Alemanha para aplicações GPS em tempo real e pós-processado. Seu desenvolvimento tem sido realizado com a cooperação e responsabilidade da AdV (*Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland* – Secretarias de Geodésia e Levantamentos dos Estados da República da Alemanha).

O sistema foi planejado para operar com 250 estações GPS permanentes distanciadas de 40 a 70 km de tal forma a cobrir todo o país. Operando com receptores geodésicos de dupla-frequência e antenas *choke-ring*, essa rede fornece dados para GPS Diferencial que são empregados por diversos usuários e em diversos campos de aplicação.

O SAPOS fornece quatro serviços, que diferem em alguns aspectos como por exemplo quanto ao nível da precisão e em relação à sua capacidade de operar em tempo real (quadro 01):

- EPS – *Real Time Positioning Service*
- HEPS – *High Precision Real Time Positioning Service*
- GPPS – *Geodetic Precise Positioning Service*
- GHPS – *Geodetic High Precision Service*

QUADRO 01 – SERVIÇOS SAPOS (FONTE: HANKEMEIER, 1996)

Serviço	Disponibilidade	Atualização	Acurácia	Formato
EPS	Tempo-real	3 to 5 sec	1 to 3 m	RTCM 2.0
HEPS	Tempo-real	1 sec	1 to 5 cm	RTCM 2.1
GPPS	Quase tempo-real pós-processado	1 sec	1 cm	RINEX 2.0
GHPS	Pós-processado	0,5 to 15 sec	< 1 cm	RINEX 2.0

3. REDE DE ESTAÇÕES DE REFERÊNCIA

3.1. ERROS

Segundo SEEBER, 2000, quando se analisa os erros em uma rede de estações de referência, eles podem ser classificados em dois tipos diferentes de erros:

- dependentes da estação:
 - variações do centro de fase da antena;
 - multicaminho;
 - interferência de sinais.
- dependentes da distância:
 - órbita;

- ionosfera;
- troposfera.

Segundo o mesmo autor, os primeiros são provenientes de estações e podem ser reduzidos através de calibração. Já os dependentes da distância normalmente crescem com o aumento da distância entre as estações de referência e móvel e podem ser minimizados através da ligação de estações de referência em uma rede de modo a se modelar alguns erros para uma dada região.

O quadro 02 mostra a magnitude dos erros que podem ser reduzidos e/ou modelados empregando o conceito de redes de estações de referência.

QUADRO 02 – MAGNITUDE DOS ERROS (FONTE: SEEBER, 2000)

Erros dependentes da estação			Erros dependentes da distância		
Variação do Centro de Fase	Efeito de Multicaminho	Ruído	Órbita	Ionosfera	Troposfera
mm .. 3 cm	mm .. 5 cm	2 mm	0,5 .. 2 ppm	0,1 .. 50 ppm	0,1 .. 3 ppm

3.2. CONCEITOS ACP E VRS

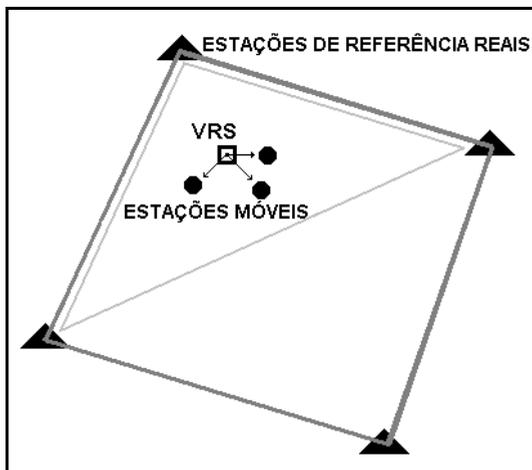
Atualmente conta-se com dois conceitos distintos para os posicionamentos diferenciais que aplicam as correções de redes de estações de referência, sendo o conceito ACP (*Area Corrections Parameters*) e o conceito VRS (*Virtual Reference Station*).

No primeiro conceito, também chamado de FKP (do alemão: *Flächenkorrekturparameter*) uma central de computação calcula para cada satélite coeficientes denominados ACP que cobrem os efeitos ionosféricos, troposféricos e de órbita para uma determinada área formada pela rede e envia estes coeficientes para que o usuário possa realizar a interpolação para a região onde ele se encontra.

No conceito de estação de referência virtual o usuário transmite suas coordenadas aproximadas para uma central da rede. Esta realiza diversos passos, entre eles a determinação das ambigüidades e a partir desta os parâmetros de correção de área ACP são gerados. Mas diferente do que acontece com o conceito de ACP, estas correções não são enviadas ao usuário, em vez disso, observações virtuais são criadas a partir da interpolação dos parâmetros de correção de área para essa posição aproximada.

Verifica-se que a VRS é situada a poucos metros de onde a estação móvel está localizada, e esta interpreta e usa os dados como se a VRS fosse uma estação real. Neste caso a linha de base é muito curta, e é processada em relação à VRS, o que pode melhorar significativamente a qualidade do posicionamento (figura 01).

FIGURA 01 – ESTAÇÃO DE REFERÊNCIA VIRTUAL EM UMA REDE



4. LEVANTAMENTOS DE CAMPO

Os levantamentos de campo foram realizados em dois pontos localizados no estado de Baden-Württemberg, na Alemanha. O primeiro deles foi em um ponto denominado MICHAELSBERG e o segundo em KUERNBACH, escolhidos de forma a ocuparem uma posição de interesse dentro da rede de estações de referência.

A rede era formada por quatro estações reais de referência (quadro 03): STUTTGART, KARLSRUHE, HEILBRONN e HEIDELBERG distantes de 40 a 76 km entre elas. Os arquivos de observações da estação KARLSRUHE foram fornecidos pelo Instituto de Geodésia da Universidade de Karlsruhe (GIK - *Geodätisches Institute Karlsruhe*) em formato RINEX 2.0 com observações a cada 1 segundo. Para as demais estações, os dados foram fornecidos pelo SAPOS de Baden Württemberg, em formato RINEX 2.1 e com uma taxa de gravação de dados de 1 segundo. A cada 1 hora as estações de referência gravam as observações em arquivos RINEX (*Receiver Independent Exchange Format*).

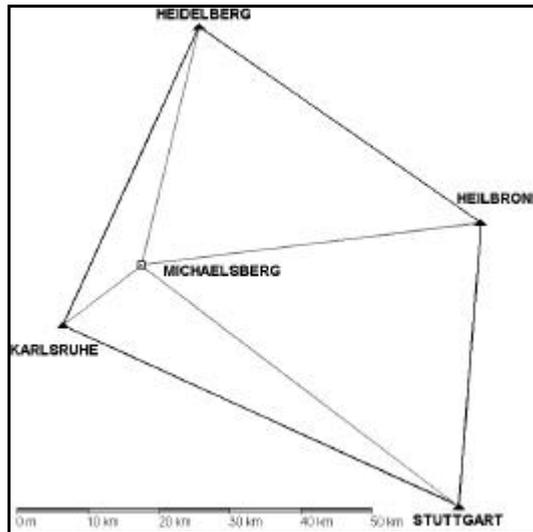
QUADRO 03: CARACTERÍSTICAS DAS ESTAÇÕES DE REFERÊNCIA

Estação	Código	Receptor	Antena
STUTTGART	384	Trimble 4000 SSi	TRM23903.00
KARLSRUHE	385	Trimble 4000 SSi	TRM29659.00
HEILBRONN	386	LEICA SR520	LEIAT503
HEIDELBERG	387	LEICA SR9500	LEIAT303

4.1 MICHAELSBERG

MICHAELSBERG é um ponto que pertence à BWREF (*Baden-Württemberg Reference Net*) e localiza-se 14 km do ponto da rede mais próximo: KARLSRUHE (figura 03).

FIGURA 03 – PONTO MICHAELSBERG



Em MICHAELSBERG foram realizados dois levantamentos de campo, um no dia 347/2002 e o outro na semana seguinte, dia 353/2002. No primeiro, os levantamentos começaram às 8:30 (hora local) com 3 horas de duração. Os dados foram coletados com um receptor geodésico Trimble 4000 SSi, com uma taxa de gravação dos dados de 1 segundo e o ângulo de elevação dos satélites foi de 5 graus. A altura vertical da antena foi medida com um nível Zeiss em relação ao ARP (*Antenna Reference Point*). No segundo dia de levantamento seguiu-se uma metodologia semelhante à do primeiro dia, porém com o levantamento iniciando às 12:00 (hora local) e tendo igualmente 3 horas de duração. Os dados foram descarregados com o software Trimble GPLoad v2.75 em formato compacto *.DAT.

Para o pós-processamento dos dados foram empregados dois programas: GPSurvey e o TTC. O GPSurvey é um programa da Trimble já bastante conhecido no Brasil e empregado para o processamento de linhas de base. O Trimble Total Control (TTC) é um programa para o pós-processamento de dados que permite ao

usuário tanto processar linhas de base quanto criar uma estação de referência virtual para cada estação móvel. Ele utiliza os dados de pelo menos três estações de referência para criar uma VRS em qualquer posição, porém situada dentro da área formada por estas estações. E a partir da VRS, é possível processar os dados da estação móvel, apresentando uma linha de base muito curta. O TTC gera um arquivo RINEX com as observações criadas para a estação virtual de referência, que será utilizada posteriormente na determinação da linha de base entre esta estação e a móvel.

Primeiramente foram processadas 4 linhas de base entre as estações de referência STUTTGART, KARLSRUHE, HEILBRONN e HEIDELBERG e o ponto MICHAELSBERG, cujas distâncias aproximadas podem ser verificadas no quadro 03. Foram utilizadas as 3 horas de observações para a determinação destas linhas de base e a solução final requerida foi a livre de ionosfera e um ângulo de elevação de 15 graus. Foi empregado o modelo troposférico denominado “NIEL”. Observa-se que para o arquivo RINEX da estação de referência STUTTGART do primeiro dia de levantamentos, os primeiros 47 minutos de observações não foram gravados. Constatou-se mais tarde que essa estação apresentou problemas na coleta/gravação dos dados, portanto este arquivo continha 2 horas e 13 minutos de observações.

QUADRO 03 – LINHAS DE BASE APROXIMADAS

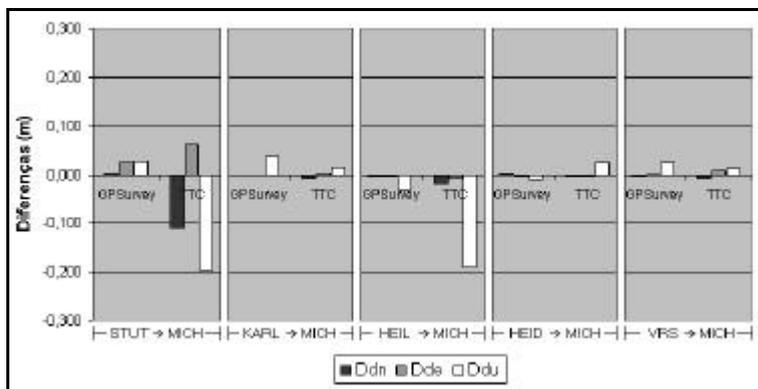
Estação	Distância
STUT → MICH	56,2 km
KARL → MICH	13,9 km
HEIL → MICH	48,2 km
HEID → MICH	34,5 km
VRS → MICH	6 - 44 m

O próximo passo foi a criação de uma estação de referência virtual com o programa TTC. As coordenadas da estação de referência virtual criada foram determinadas pelo próprio TTC, de tal forma que a estação virtual se encontrava a 6 metros (dia 347) e 44 m (dia 353) da estação móvel. O próprio programa também se encarregou de escolher as três estações de referência reais mais apropriadas para a geração da VRS: KARLSRUHE, HEILBRONN e HEIDELBERG. Foram utilizados nas configurações de processamento o modelo troposférico de “NIEL”, foi adotado um ângulo de elevação de 5 graus e foram empregados os arquivos de calibração de antenas do NGS (*National Geodetic Survey*). Nas demais configurações de processamento foram mantidos os valores padrão. O programa então criou os arquivos RINEX com as observações das estações de referência virtuais para cada um dos dias GPS.

Então a partir destes arquivos RINEX, foi possível processar as linhas de base muito curtas (menores que 50 metros) entre as estações VRS e MICHAELSBERG com os dois programas. A solução final adotada para o processamento da linha de base foi a L1 e um ângulo de elevação de 15 graus.

Ambos os *softwares* geram arquivos de saída com as componentes *north*, *east* e *up* do vetor processado, denominados *dn*, *de* e *du*. Como se conhecia as coordenadas geodésicas precisas da estação MICHAELSBERG, foram calculadas as diferenças *Ddn*, *Dde* e *Ddu* para as quatro linhas de base com as estações de referência e para a linha de base empregando a VRS. Estas diferenças podem ser visualizadas nas figuras 04 e 05.

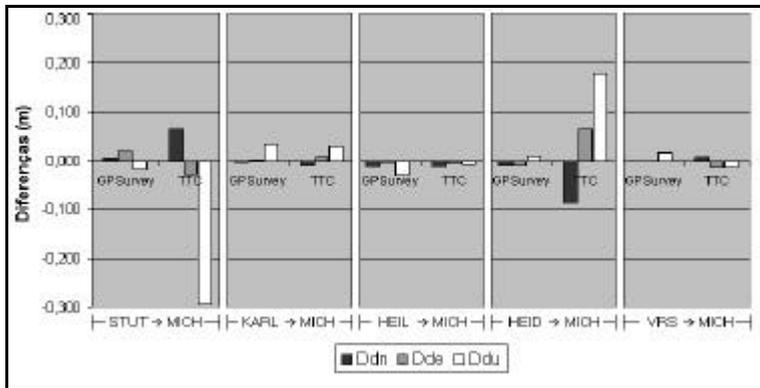
FIGURA 04 – DIFERENÇAS DAS COMPONENTES PARA O DIA 347/2002 EM MICHAELSBERG



Observa-se na figura 04 que as diferenças para as linhas de base entre STUTTGART e MICHAELSBERG e entre HEIDELBERG e MICHAELSBERG apresentaram diferenças de aproximadamente 20 cm na componente *du*, quando processadas com o TTC. Nesta primeira linha de base verifica-se ainda que as demais componentes também apresentaram as maiores diferenças, quando comparadas aos demais processamentos, sendo maior que 10 cm na componente *dn*.

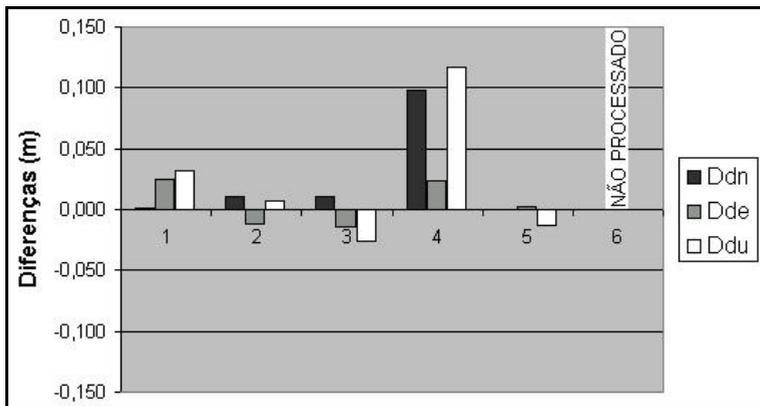
Na figura 05, novamente verifica-se que os maiores desvios foram da linha de base entre STUTTGART e MICHAELSBERG, com o TTC. Porém desta vez foi a linha de base entre HEIDELBERG e MICHAELSBERG que apresentou desvios maiores que 5 cm nas três componentes quando processada com o TTC.

FIGURA 05 – DIFERENÇAS DAS COMPONENTES PARA O DIA 353/2002 EM MICHAELSBERG



Realizou-se também um processamento entre a VRS e a estação MICHAELSBERG, porém com uma sessão de apenas 5 minutos. A figura 06 mostra o resultado do processamento de 6 sessões de 5 minutos, do segundo dia de levantamento (dia 353) com o programa TTC.

FIGURA 06 – DIFERENÇAS PARA LINHAS DE BASE ENTRE A VRS E MICHAELSBERG PROCESSADAS COM SESSÕES DE 5 MINUTOS COM O PROGRAMA TTC (DIA 353)

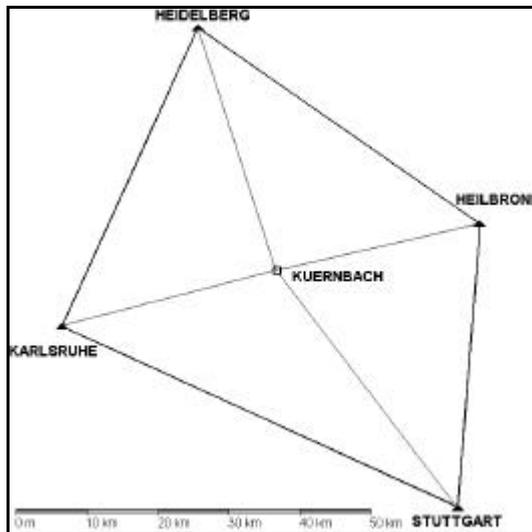


Observa-se na figura 06 que das seis linhas de base de 5 minutos processadas, quatro delas tiveram as diferenças em todas as componentes menores que 5 centímetros, enquanto que uma delas apresentou desvios maiores, porém inferiores a 10 cm. Nota-se também que o programa TTC não conseguiu processar a última linha de base.

4.2 KUERNBACH

O ponto KUERNBACH também pertence à BWREF e apresenta uma peculiaridade neste trabalho pelo fato de se localizar aproximadamente no centro da rede. Desta forma, o ponto mais próximo (HEILBRONN) está a 29,3 km daquele ponto, e o mais distante (STUTTART) está a 41,9 km (figura 07).

FIGURA 07 – PONTO KUERNBACH



Em KUERNBACH também foram realizados dois levantamentos de campo, um no dia 346/2002 das 9:00 às 12:00 horas (hora local) e o outro na semana seguinte, dia 352/2002, iniciando às 9:00 e tendo igualmente 3 horas de duração. Os dados foram coletados com o mesmo receptor utilizado nos levantamentos em MICHAELSBERG e com as mesmas configurações de rastreamento.

Seguiu-se a metodologia descrita anteriormente para o pós-processamento dos dados, tanto nos procedimentos quanto nas configurações dos programas. Foram processadas 4 linhas de base entre as estações de referência STUTTART, KARLSRUHE, HEILBRONN e HEIDELBERG e o ponto KUERNBACH, onde as distâncias aproximadas podem ser visualizadas no quadro 04.

QUADRO 04 – LINHAS DE BASE APROXIMADAS

Estação	Distância
STUT → KUER	41,9 km
KARL → KUER	31,2 km
HEIL → KUER	29,3 km
HEID → KUER	36,0 km
VRS → KUER	45 - 29 m

Com o arquivo RINEX das VRS criadas para os dois dias de levantamentos, construiu-se os gráficos de diferenças calculadas entre as coordenadas precisas e as processadas, em um sistema local, que estão representadas pelas figuras 08 e 09.

FIGURA 08 – DIFERENÇAS DAS COMPONENTES PARA O DIA 346/2002 EM KUERNBACH

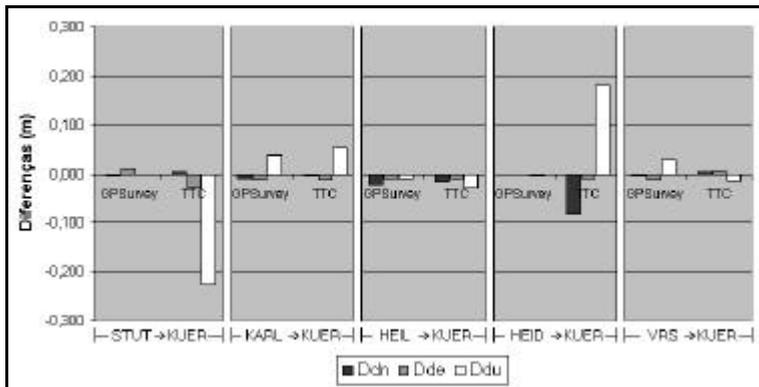
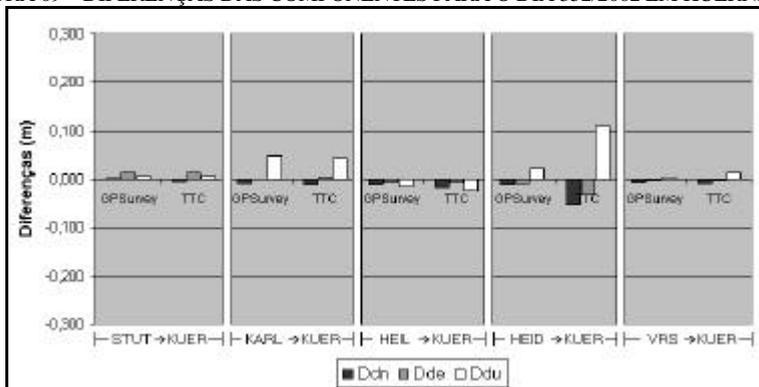


FIGURA 09 – DIFERENÇAS DAS COMPONENTES PARA O DIA 352/2002 EM KUERNBACH



Nas figuras 08 e 09, percebe-se que as maiores diferenças ainda são para as linhas de base processadas com o programa TTC. Percebe-se também que comparando as diferenças de MICHAELSBERG com KUERNBACH, este último, localizado quase no centro da rede, apresentou de forma geral menores diferenças que o primeiro.

5. CONCLUSÃO

Verifica-se no processamento que as diferenças das componentes nas linhas de base entre as estações de referência e as estações móveis (MICHAELSBERG e KUERNBACH) não são muito diferentes daquelas empregando uma VRS, quando se processou com as 3 horas de observação. Porém a VRS apresentou melhores resultados com os dois programas, o que não aconteceu com as outras linhas de base. O software TTC não apresentou resultados satisfatórios na determinação das linhas de base entre as estações de referência reais e as móveis. Porém quando ele foi utilizado para a determinação da linha de base muito curta entre as VRS e as estações móveis, ele apresentou resultados semelhantes ao programa GPSurvey.

O conceito de VRS pode ser usado para a determinação de linhas de base com sessões com tempo de duração de 5 minutos, conforme percebe-se na figura 06. Nesta figura observa-se que com excessão da última sessão, que não foi processada, e da quarta que apresentou um erro tridimensional de 15,5 cm, o maior erro tridimensional foi de 4 cm na primeira sessão.

Porém alguns problemas ainda existem no posicionamento por esta técnica quando se realiza o processamento de uma sessão com um tempo de ocupação muito pequeno. A principal delas refere-se ao número de satélites dos arquivos RINEX das estações de referência virtuais. No teste realizado com as sessões de 5 minutos, verificou-se que no arquivo RINEX das VRS para a maior parte das observações o número de satélites presentes era de 5, no entanto também havia 4 ou 6 satélites. Porém este arquivo foi criado com uma elevação de 5 graus, e as linhas de base foram processadas com um ângulo de elevação de 15 graus. Na tentativa de criar as VRS com um ângulo de elevação de 15 graus, observou-se que na maioria delas o programa TTC não conseguiu resolver as ambigüidades entre os pares de estações reais, sendo que este é um pré-requisito para a criação das observações virtuais. Desta forma, optou-se por aplicar um ângulo de 5 graus.

6. REFERÊNCIAS

EULER, H.-J.; KEENAN C. R.; ZEBHAUSER B. E.; WÜBBENA G. **Study of a Simplified Approach in Utilizing Information from Permanent Reference Station Arrays**. Presented at ION GPS 2001, 11 a 14 Set. 2001, Salt Lake City,

Utah. Disponível em: <http://www.geopp.de/publikationen/1st_gnnt.htm>. Acesso em: 07 nov. 2002.

HANKEMEIER, P. (1996): **The DGPS Service for the FRG – Concept and Status**. Contributed paper to the IAG Symposium in Boulder, July 1996.

SAPOS. Disponível em: <<http://www.sapos.de>>. Acesso em: 23 out. 2002.

SEEBER, G. (2000) Real Time Satellite Positioning on the Centimeter Level in the 21st century using Permanent Reference Stations. Nordic Summer School, Fevik, Norway.

WANNINGER, L. **Improved ambiguity resolution by regional differential modelling of the ionosphere**. Proceedings of ION GPS-95, Palm Springs, 12 a 15 Set. 1995, pp. 55-62. Disponível em: <<http://www.wasoft.de/virt/pub/inhalt.html>>. Acesso em: 03 dez. 2002.

WANNINGER, L. **Real-Time Differential GPS Error Modelling in Regional Reference Station Networks**. Proceedings of the IAG Scientific Assembly, Rio de Janeiro, Set. 1997, IAG Symposia 118, Springer Verlag, 86-92. Disponível em: <<http://www.wasoft.de/virt/pub/inhalt.html>>. Acesso em: 03 dez. 2002.

WANNINGER, L. **The Performance of Virtual Reference Stations in Active Geodetic GPS-networks under Solar Maximum Conditions**. Proc. ION GPS 99, Nashville TN, 1419-1427. Disponível em: <<http://www.wasoft.de/virt/pub/inhalt.html>>. Acesso em: 03 dez. 2002.

WANNINGER, L. **Virtual Reference Stations for Centimeter-Level Kinematic Positioning**. Presented at ION GPS 2002, Portland, Oregon, 24 a 27 Set. 2002. Disponível em: <<http://www.wasoft.de/virt/pub/inhalt.html>>. Acesso em: 03 dez. 2002.

WaSoft. **Wasoft**. <<http://www.wasoft.de>>. Acesso em: 09 dez. 2002.

WEBER, G. (2001): The SAPOS System in Germany. Submitted to The 3^d Asia Pacific Rim Meeting, International Information Subcommittee (IISC), Civil GPS Service Interface Committee (CGSIC), 6-9 Feb. 2001, Tokio, Japan.

7. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Dipl.-Ing. Heiner Derenbach da *Landesvermessungsamt Baden-Württemberg* que gentilmente cedeu os arquivos das estações de referência do SAPOS utilizadas neste trabalho. Também agradecem ao aluno Márcio José Urakawa que participou dos levantamentos de campo e do processamentos dos dados.

Agradecem também à CAPES/DAAD (programa UNIBRAL) pela bolsa de cinco meses na Alemanha, concedida para a realização da disciplina Projeto Final, do Curso de Engenharia Cartográfica da Universidade Federal do Paraná.

ESTUDOS PARA A INTEGRAÇÃO DE OBSERVAÇÕES GPS COM SINAIS DE SENSORES MEMS EM LEVANTAMENTOS GEODÉSICOS CINEMÁTICOS

Sandro Reginato Soares deLima¹
Sílvio Rogério Correia de Freitas²
Cláudia Pereira Krueger³

- 1 Universidade Federal do Paraná – reginato@geoc.ufpr.br
- 2 Universidade Federal do Paraná – sfreitas@cce.ufpr.br
- 3 Universidade Federal do Paraná – ckrueger@cce.ufpr.br

RESUMO

A falta de algoritmos específicos abertos para levantamentos geodésicos e o alto custo de aquisição e desenvolvimento de sensores e instrumentos dificultam o uso da integração GPS/INS. Com isso, o presente trabalho apresenta uma linha de estudos para a integração GPS/INS envolvendo Sistemas MicroEletrôMecânicos (MEMS). Atualmente, tais dispositivos podem ser considerados de baixo custo e representam uma forma acessível para a pesquisa. Embora os níveis de desempenho de tais dispositivos ainda sejam inferiores aos necessários para a maioria das aplicações geodésicas pode-se utilizá-los como meio de partida para a pesquisa. O estudo dos parâmetros e equações básicas GPS e INS servem como base para a implementação de algoritmos de integração GPS/INS, baseados principalmente no filtro de Kalman. Neste trabalho a ênfase é dada na perspectiva de utilização de acelerômetros MEMS, visando estudos futuros sobre o monitoramento de plataformas móveis. Com isso, pretende-se mostrar a utilização de dispositivos MEMS como uma tendência atual na pesquisa internacional. Este trabalho também reflete parte do conteúdo do plano de tese apresentado no CPGCG, seguindo assim as estratégias que procuram tornar acessíveis novas metodologias e tecnologias para o posicionamento geodésico.

Palavras-chave: Levantamentos Geodésicos; Integração GPS/INS/MEMS

ABSTRACT

The lack of open specific algorithms for geodesic surveying and the high acquisition and development cost of sensor and instruments makes difficult the use of the GPS/INS integration. Therefore, the present work proposes a line of studies for the integration GPS/INS that uses MicroElectroMechanical Systems (MEMS).

Nowadays, such devices can be considered of low cost and they represent an accessible base for the research. Although the levels of performance of such devices are still lower to the necessary ones for most of the geodesic applications, they can be used as a way of departure for the research. The studies of the parameters and basic equations GPS and INS serve as base for the implementation of integration GPS/INS algorithms, based mainly on Kalman filter. In this work the emphasis will be given in the perspective of using the MEMS accelerometers, seeking future studies about monitoring of mobile platforms. This way, the use of MEMS devices is presented as a current tendency in the international research. This work also reflects part of the content of the thesis plan presented at CPGCG, so it follows the strategy that try to turn new methodologies and technologies accessible for the geodesic positioning.

Keywords: Geodetic Surveying; GPS/INS/MEMS Integration

1. INTRODUÇÃO

Há alguns anos foram discutidas diversas questões que deram origem a diretivas internacionais visando o desenvolvimento de instrumentos integrados para o posicionamento preciso em levantamentos geodésicos cinemáticos (NRC, 1995). Dentre tais questões encontra-se a necessidade de tornar acessíveis à comunidade científica o uso de novas metodologias e tecnologias. Com isso, periodicamente são divulgados progressos em pesquisas que visam à utilização simultânea das observações de múltiplos sistemas de posicionamento. Os relatórios do Grupo de Trabalho 1, da Comissão Especial 4, da Associação Internacional de Geodésia (IAG), sobre sistemas móveis com múltiplos sensores em aplicações de GIS e mapeamentos móveis são exemplos significativos de publicações de planos e resultados da pesquisa para a integração de sistemas de posicionamento e navegação.

A necessidade de aquisição ininterrupta de observações com níveis de precisão adequados aos levantamentos geodésicos (em topografia, gravimetria, sensoriamento remoto e fotogrametria) impõe a utilização de múltiplos sistemas de posicionamento integrados que possuam características complementares de operação. Este é o caso da integração de instrumentos que utilizam o Sistema de Posicionamento Global (GPS) com Sistemas de Navegação Inercial (INS). Diversas tentativas de utilização da tecnologia dos sistemas inerciais em levantamentos geodésicos vêm sendo realizadas nas últimas três décadas. Neste período, no Brasil, alguns pesquisadores também vêm mostrando interesse por estes sistemas, sendo que os primeiros levantamentos significativos com posicionadores inerciais foram realizados com o

uso de instrumentos da Agência de Mapeamento de Defesa (DMA, atualmente NIMA) dos Estados Unidos (FREITAS, 1980; LIMA, 2000).

Normalmente, os processos de integração instrumental para o posicionamento cinemático de precisão são complexos e necessitam de grandes investimentos e longos esforços de pesquisa. Instrumentos instalados em aeronaves e embarcações ilustram bem o nível de complexidade e da grande quantidade de dispositivos, conexões físicas e padrões de comunicação diferentes que são necessários na integração de sistemas de navegação e posicionamento. O processamento de observações normalmente exige esforço computacional elevado devido à necessidade de manipulação de grandes quantidades de dados e da execução de procedimentos numéricos complexos em tempo real.

Com isso buscam-se formas alternativas de pesquisa, com ênfase no baixo custo, e que devem ser consideradas para a pesquisa da integração de sistemas de posicionamento dentro do Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas (CPGCG) da UFPR, com o apoio do Laboratório de Instrumentação Geodésica (LAIG) e do Laboratório de Geodésia Espacial (LAGE).

2. INTEGRAÇÃO DE SISTEMAS DE POSICIONAMENTO

2.1. EQUAÇÕES BÁSICAS DE OBSERVAÇÃO

O Sistema de Posicionamento Global (GPS) utiliza sinais eletromagnéticos, enviados por satélites para toda a superfície da Terra, que podem ser processados para se obter medições de posição que atendam às necessidades do posicionamento geodésico. Entretanto estes sinais podem sofrer perturbações e obstruções que afetam a precisão das medidas. Por sua vez, um Sistema de Navegação Inercial (INS) utiliza sensores (acelerômetros e giroscópios) que efetuam medições para a determinação de trajetórias sem interferências externas. Entretanto o desempenho destas medições diminui com o tempo devido ao acúmulo ilimitado de erros no processo de integração numérica das observações. Utilizando-se os dois sistemas ao mesmo tempo, GPS e INS, encontra-se uma solução complementar, contornando suas deficiências e aumentando o desempenho final do levantamento.

O modelo básico para as medições de um receptor GPS pode ser representado pelas equações de observação referentes ao código e à fase de portadora do sinal que é recebido (PARKINSON e SPILKER, 1996):

Equação de observação de código (pseudodistância):

$$p = \mathbf{r} + c(dt - dT) + d_r + d_{ion} + d_{trop} + \mathbf{e}_p \quad (1)$$

Equação de fase de batimento da portadora:

$$\Phi = \mathbf{r} + c(dt - dT) + \mathbf{I} \cdot N + d_p - d_{ion} + d_{trop} + \mathbf{e}_\Phi \quad (2)$$

onde:

- p - é a chamada pseudodistância;
- r - distância geométrica;
- Φ - fase de batimento da portadora do sinal GPS;
- c - velocidade da luz no vácuo;
- d_p - erro na posição do satélite;
- d_{ion} - erro devido à refração da ionosfera;
- d_{trop} - erro devido à refração da troposfera;
- dt - erro do relógio do satélite;
- dT - erro do relógio do receptor;
- e_p, e_Φ - demais erros na pseudodistância e na fase, respectivamente.

A navegação inercial é baseada na expressão conhecida como equação fundamental da Geodésia Cinemática (MORITZ, 1967):

$$\vec{a} = \vec{f} + \vec{g} \quad (3)$$

onde: o vetor força específica \vec{f} de um veículo em movimento, em relação a um sistema de coordenadas inerciais, pode ser obtida como combinação linear do vetor aceleração \vec{a} do sistema e do vetor da gravidade \vec{g} . Com as acelerações gravitacionais conhecidas, as acelerações do sistema podem ser calculadas a partir da força específica, bem como o deslocamento, após uma dupla integração numérica em relação ao tempo.

As medições dos acelerômetros de uma Unidade de Medição Inercial (IMU) permitem a determinação das componentes do vetor força específica e podem ser modeladas pela seguinte equação (EL-SHEIMY e SCHWARZ, 2001):

$$l_a = f + b + (S_1 + S_2 f) f + N.f + \mathbf{g} + \mathbf{d}g + \mathbf{e}_f \quad (4)$$

onde:

- l_a - medida (sinal) de aceleração linear com erros (ruídos);
- f - força específica;
- b - erro sistemático dos acelerômetros (*bias*);
- S_1 - matriz representando fator de escala para os erros lineares;
- S_2 - matriz representando fator de escala para os erros não-lineares;
- N - matriz para os erros devidos à não ortogonalidade dos eixos;
- \mathbf{g} - gravidade normal;
- $\mathbf{d}g$ - distúrbio da gravidade;
- \mathbf{e}_f - demais ruídos de observação dos acelerômetros.

De forma semelhante podem ser estabelecidas expressões para as medições dos sensores de rotação (giroscópios) necessários para determinação da atitude do veículo ou da plataforma que transporta os instrumentos dos sistemas. As plataformas inerciais podem ter a direção dos seus eixos de medição estabilizada no espaço (*gimbal platforms*) ou acompanhar os movimentos do veículo (*strapdown platforms*), neste caso, sendo chamada de plataformas analíticas.

2.2. INTEGRAÇÃO DE OBSERVAÇÕES

Para que as observações possam ser processadas de forma conjunta é necessário estabelecer um sincronismo entre os sistemas. Em geral, este sincronismo é conseguido tomando-se como referência o tempo GPS. Além disso, as observações GPS devem ser corrigidas periodicamente por meio de correções diferenciais para observações de código (modo DGPS – *Differential GPS*) ou para observações de fase de portadora (modo RTK – *Real Time Kinematic*).

A diferença entre as observações GPS e INS (e.g., medições de posição) deve passar pelo processamento de um algoritmo de integração. Este algoritmo tentará estimar os erros (ruídos, desvios) das medidas. Em geral, o filtro de Kalman é o algoritmo mais utilizado neste caso. E, utilizando-se de procedimentos recursivos para a estimação de variáveis de estado (e.g., dos parâmetros dos modelos GPS e INS apresentados nas equações de 1 a 4), as relações básicas para o caso de tempo discreto do filtro de Kalman podem ser (BROWN e HWANG, 1997):

- Modelo dinâmico (de estado, de sistema):

$$x_{k+1} = \mathbf{f}_k x_k + w_k \quad (5)$$

- Modelo de medida (observação):

$$z_k = \mathbf{H}_k x_k + v_k \quad (6)$$

Considerando-se as estimativas *a priori*, variável de estado \hat{x}_0^- e covariância P_0^- , onde o sinal negativo (-) é usado sobrescrito aos símbolos para indicar que esta é a melhor estimativa antes da utilização de medições no instante de tempo t_k , (indicado com o subscrito k) aplicam-se, então, as seguintes de equações:

- Ganho de Kalman (fator de fusão):

$$K_k = P_k^- H_k^T (H_k P_k^- H_k^T + R_k)^{-1} \quad (7)$$

- Estimativa com medição (inovação):

$$\hat{x}_k = \hat{x}_k^- + K_k (z_k - H_k \hat{x}_k^-) \quad (8)$$

- Matriz de covariância de erro de estimação de estado:

$$P_k = (I - K_k H_k) P_k^- \quad (9)$$

- Obtendo-se as estimativas *a posteriori*:

$$\hat{x}_{k+1}^- = \mathbf{f}_k \hat{x}_k + w_k \quad (10)$$

e também:

$$P_{k+1}^- = \mathbf{f}_k P_k \mathbf{f}_k^T + Q_k \quad (11)$$

onde:

\hat{x}_k - vetor de estado;

z_k - vetor de medições;

w_k - vetor de erro do modelo dinâmico (estado);

v_k - vetor de erro de medição;

\mathbf{f}_k - matriz de propagação de estados;

H_k - matriz de propagação de medições;

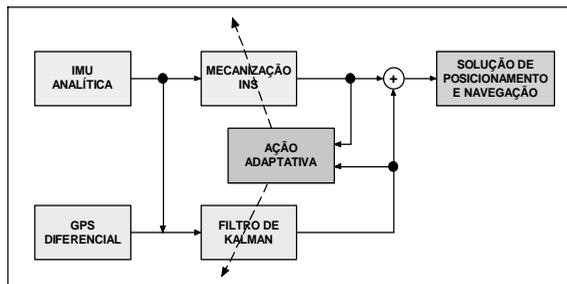
Q_k - matriz covariância de w_k ;

R_k - matriz covariância de v_k ;

I - matriz identidade.

O filtro de Kalman procura modificar seu processamento à medida que novas observações tornam-se disponíveis, alterando seus parâmetros (covariâncias) por meio de ajustes. Os algoritmos que atuam desta forma podem ser considerados filtros adaptativos (HAYKIN, 1996). De forma esquemática, a Figura 01 representa um exemplo de integração GPS/INS com o fluxo das observações dos sistemas e indicando-se também uma ação adaptativa de processamento (um controle).

FIGURA 01 – FILTRO DE KALMAN COM AÇÃO ADAPTATIVA



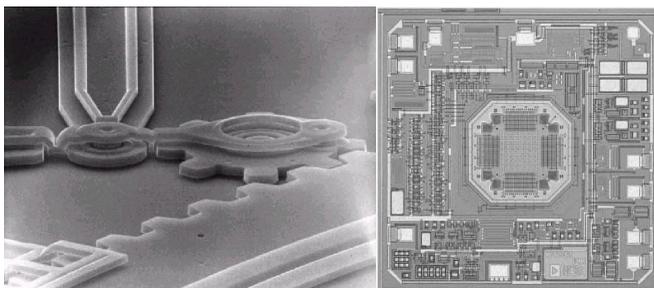
3. SISTEMAS MICROELETROMECAÑICOS (MEMS)

O custo elevado para a pesquisa e desenvolvimento de instrumentos torna proibitiva a produção e aquisição, em grandes quantidades, de sistemas de posicionamento com desempenho geodésico por parte de instituições de pesquisa e ensino. Com isso, procuram-se alternativas que atendam alguns requisitos mínimos de desempenho e que tenham um custo relativamente baixo.

Estudos recentes propõem a utilização de sensores inerciais, considerados de baixo custo, baseados na tecnologia de Sistemas MicroeEletroMecânicos (MEMS), com o objetivo de desenvolver uma metodologia de operação conjunta com receptores GPS (LIMA et al., 2002; FARRELL, 2002). A referência para um sistema de baixo custo é arbitrária, sendo que para alguns pesquisadores, um instrumento de baixo custo deve apresentar um custo em torno de dez mil dólares. Aqui, entretanto, sistemas de baixo custo serão considerados os sistemas que utilizam sensores com custo menor que mil dólares.

A Figura_02 mostra a imagem ampliada de algumas estruturas mecânicas com dimensões micrométricas e de um substrato MEMS contendo acelerômetros e circuitos eletrônicos de controle integrados.

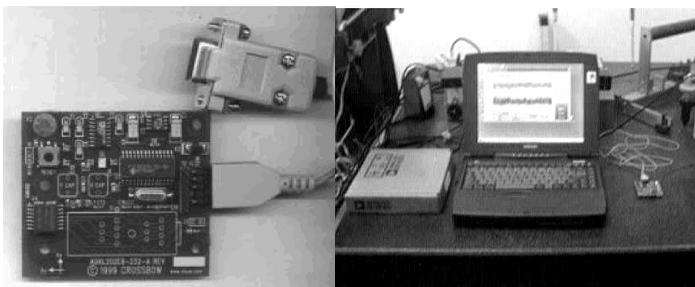
FIGURA 02 – ESTRUTURAS E SUBSTRATO MEMS



Em alguns experimentos preparatórios realizados em laboratório foram utilizados sensores MEMS com a finalidade de medir as características dos sinais e do nível de ruído aleatório (gaussiano) do sensor quando disposto sobre uma base fixa. Este ensaio teve como objetivo principal verificar se o sensor apresentava as especificações médias indicadas pelo fabricante. Neste caso o dispositivo forneceu observações (sinais) dentro dos limites nominais (LIMA et al., 2002).

A Figura 03 mostra o dispositivo de testes utilizado, contendo acelerômetro MEMS, com interface serial e a mesa de testes no laboratório LAIG, onde foram realizados ensaios utilizando um computador pessoal como coletor de dados, com os sensores em uma posição considerada estática.

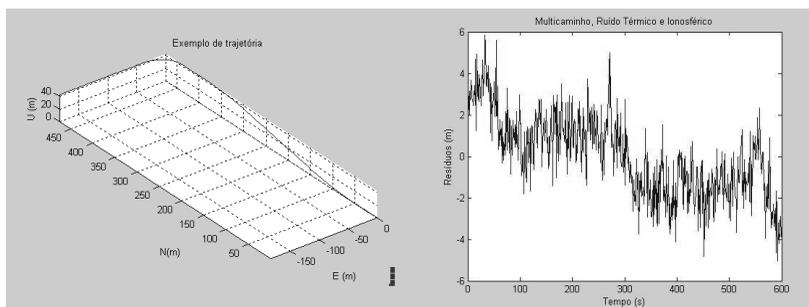
FIGURA 03 – DISPOSITIVO MEMS E MESA DE TESTES



Com isso, pode-se observar que a utilização de tais sensores ainda tem resultado em soluções com desempenho relativamente limitado, quando comparado com as necessidades dos levantamentos geodésicos. Entretanto, como atualmente existem grandes volumes de investimentos (na ordem de bilhões de dólares) destinados à pesquisa de sensores com melhor desempenho (em grande parte para aplicações industriais, automobilísticas e militares), espera-se em breve o desenvolvimento de sensores de baixo custo com desempenho satisfatório (EL-SHEIMY, 2000).

Enquanto isso, com o objetivo de planejar várias possibilidades de experimentos em laboratório e de levantamentos de campo futuros, podem ser realizados estudos prévios com simulações de contexto, que servirão como referência inicial para a pesquisa. A Figura 04 indica um exemplo de simulação básica, realizada com o aplicativo MATLAB, para o planejamento de trajetórias e avaliação comportamento de ruídos e interferências impostas aos sinais dos receptores GPS.

FIGURA 04 – EXEMPLOS DE SIMULAÇÃO DE CONTEXTO COM MATLAB



Da mesma forma é possível simular o comportamento dos sensores inerciais e estimar o seu desempenho durante um levantamento de campo. Incluindo também fatores ambientais, tais como a variação de temperatura.

CONCLUSÕES

A integração de sistemas de posicionamento inercial com instrumentos que utilizam técnicas espaciais (integração GPS/INS) é considerada também como uma forma de apoio na solução de problemas de integração de redes de referências verticais (FREITAS et al., 2002), no monitoramento de estruturas (edifícios, pontes e viadutos), além de aplicações de engenharia de controle moderno (robótica), em aplicações militares (em veículos autônomos, mísseis balísticos e munição inteligente), em levantamentos geodésicos e geofísicos nos oceanos (batimetria e prospecção petrolífera) e em pesquisas espaciais.

Tendo em vista que em breve um único substrato MEMS poderá conter sensores inerciais e receptores GPS, localizados num único substrato, compartilhando recursos eletrônicos e computacionais, é importante considerar desde já a sua utilização em instrumentos destinados aos levantamentos geodésicos. Sendo que os sensores inerciais MEMS (acelerômetros) atuais já apresentam níveis de desempenho suficientes para algumas aplicações de navegação.

A pesquisa de algoritmos eficientes e acessíveis pode utilizar soluções baseadas no filtro de Kalman e na capacidade de simulação computacional dos sinais dos sistemas e de trajetórias (elaboração de contexto), antecedendo possíveis experimentos de campo.

4. REFERÊNCIAS

BROWN, R.G.; HWANG, P.Y.C. **Introduction to random signals and applied Kalman filtering**. 3.ed. New York: John Wiley & Sons, 1997.

EL-SHEIMY, Nasser. **Integrated systems and their impact on the future of positioning, navigation, and mapping applications**. Calgary, 2000. Report of the Department of Geomatics Engineering, The University of Calgary (UofC).

EL-SHEIMY, N.; SCHWARZ, K.P. **KINGSPAD reference guide**, v.3.0. Calgary, 2001. Department of Geomatics Engineering, The University of Calgary (UofC).

FARRELL, J.L. Strapdown at the crossroads. In: ION 58th ANNUAL MEETING/ CIGTF 21st GUIDANCE TEST SYMPOSIUM, junho, 2002, Albuquerque. **Anais**. Fairfax: The Institute of Navigation, 2002.

FREITAS, S.R.C. **Posicionadores inerciais**. Curitiba, 1980. 185f. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas), Departamento de Geomática, Universidade Federal do Paraná.

FREITAS, S.R.C.; SORIA MEDINA, A.; LIMA, S.R.S. Associated problems to link South American vertical networks and possible approaches to face them. In: Symposium on Vertical Reference Systems. Cartagena, 2001. **Anais**. IAG Series, vol. 124. New York: Springer Verlag, 2002.

HAYKIN, Simon. **Adaptative filter theory**. 3.ed. Upper Saddle River: Prentice-Hall, 1996.

LIMA, S.R.S. **Sistemas, Referenciais e Processos associados à integração GPS/INS**. Curitiba, 2000. 139f. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas), Departamento de Geomática, Universidade Federal do Paraná.

LIMA, S.R.S.; FREITAS, S.R.C.; KRUEGER, C.P. Perspectivas de utilização de sistemas microeletromecânicos (MEMS) visando a integração GPS/INS de baixo custo. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOMÁTICA, 2002, Presidente Prudente. **Anais**. Presidente Prudente: UNESP, 2002.

MORITZ, Helmut. **Kinematical Geodesy**. Columbus, 1967. Relatório AFCRL-67-0626, AD666052. Department of Geodetic Science, The Ohio State University.

NRC (National Research Council). **Airborne geophysics and precise positioning: scientific issues and future directions**. Report of the Committee on Geodesy. Washington: National Academy Press, 1995.

PARKINSON, Bradford; SPILKER Jr., James J. (Ed.). **Global Positioning System: theory and applications**. Washington: AIAA, 1996.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à colaboração do Prof. Dr. Hélio Koiti Kuga, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), do Prof. Dr. Cyro Ketzer Saul, do Departamento de Física da UFPR e do Prof. Dr. Luiz Danilo Damasceno Ferreira, do Departamento de Geomática da UFPR, durante a realização do Seminário de Qualificação de Tese, do CPGCG, cujas observações foram importantes no direcionamento do presente trabalho. Agradecemos também ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo fornecimento da bolsa para o programa de doutorado.

IMPLEMENTAÇÃO DO CADASTRO DE IMÓVEIS RURAIS UTILIZANDO METODOLOGIAS DE LEVANTAMENTOS GEODÉSICOS

Rogério Rangel Pessanha¹
Sandro Reginato Soares de Lima²
Márcia Cristina Lopes Quintas³

- 1 Universidade Federal do Paraná – rogeriop@geoc.ufpr.br
- 2 Universidade Federal do Paraná – reginato@geoc.ufpr.br
- 3 Universidade Federal do Paraná – mquintas@ufpr.br

RESUMO

O decreto nº 4.449 de 30 de outubro de 2002 que regulamenta a lei 10.267, através do artigo 9º, estabelece que no memorial descritivo devem constar a denominação e a identificação dos imóveis rurais, para fins de parcelamento e desmembramento, e também as coordenadas dos vértices que definem o limite do imóvel referenciado ao Sistema Geodésico Brasileiro (SGB). No termo da lei que trata da identificação do imóvel referenciado ao SGB há uma grande preocupação quanto à aplicabilidade e quanto à eficiência da exigência judicial da apresentação dos memoriais. Nos levantamentos geodésicos envolvidos no processo de demarcação determinam-se os traçados da linha de demarcação, as coordenadas das extremas e os memoriais de caracterização de extremas e de entes naturais. No levantamento cadastral é necessário definir as parcelas do terreno e assegurar evidências para o restabelecimento dos limites em caso de uma ação de demarcação. Os limites das parcelas rurais são definidos por marcos estáveis, que podem ser naturais ou artificiais frequentemente descritos por rumos (ou azimutes), distâncias e coordenadas. As exigências técnicas da demarcação e delimitação das parcelas dos imóveis devem ser compatíveis com os custos dos levantamentos. Num município que não possua uma estrutura de referência devem-se implantar marcos com características geodésicas. Atualmente, as técnicas de posicionamento GPS permitem a execução rápida e precisa dos levantamentos, com custo relativamente baixo. Tanto os métodos de levantamentos topográficos convencionais quanto as medições GPS devem atender, evidentemente, às exigências de precisão da legislação em vigor. Com isso, foram realizados alguns levantamentos de teste, para a avaliação das relações de custo, tempo de execução e precisão do levantamento de acordo com a legislação. Conclui-se que os recursos tecnológicos atuais oferecem rapidez e confiabilidade adequadas ao processo de demarcação de propriedades rurais.

Palavras-chave: Levantamentos Geodésicos; Normas de Cadastro; SIG

ABSTRACT

Decree n. 4.449 of October 30, 2002 that regulates the law 10.267, by means of the article 9th, establishes that in the descriptive memorial there should be the denomination and the identification of the rural properties, for division subjects and dismemberment, and also the coordinates of the vertexes that define the limit of the property referenced to the Brazilian Geodesic System (SGB). In the term of the law that treats of the identification of the property referenced to SGB there is a great concern to the applicability as to the efficiency of the judicial demand of the presentation of the memorial. In the geodesic surveying involved in the demarcation process the plans of the demarcation line, the coordinates of the pass points and the descriptive memorial these points characterization and of natural beings are determined. In the cadastral surveying it is necessary to define the portions of the land and to assure evidences for the re-establishment of the limits in case of a demarcation action. The limits of the rural portions are defined for stable marks, that can be natural or artificial frequently described by means of directions (or azimuths), distances, and coordinates. The technical demands of the demarcation and delimitation of the portions of the properties should be compatible with the costs of the surveyings. In a municipal district that doesn't possess a structure of reference marks they should be implanted with geodesic characteristics. Now, the GPS positioning techniques allow the fast and necessary execution of the surveyings, with relatively low cost. As much the methods of conventional topographical surveyings as the GPS measurements should assist, evidently, to the demands of precision of the legislation in energy. This way, some surveying tests were accomplished for the evaluation of the relationships of cost, time of execution and precision of the surveying in agreement with the legislation. The conclusion is that the current technological resources offer speed and reliability adapted to the process of demarcation of rural properties.

Keywords: Geodetic Surveying; Cadastre Rules; GIS

1. INTRODUÇÃO

Um dos elementos essenciais ao desenvolvimento de qualquer sociedade consiste no reconhecimento dos direitos fundamentais dos cidadãos (BORDALO, 1996), incluindo-se o direito à propriedade (imóveis). O decreto-lei n° 4.449 de 30 de outubro de 2002 regulamenta a lei n° 10.267 determinando através do seu artigo 9° que no memorial descritivo os vértices dos limites dos imóveis devem estar

referenciados ao SGB (Sistema Geodésico Brasileiro), para garantir a legitimidade da posse.

Um dos problemas essenciais da geodésia é o desenvolvimento e estabelecimento de métodos adequados (modelos matemáticos) às medições das linhas geodésicas que unem os pontos (vértices) situados na superfície do elipsóide de referência (ZAKATOV, 1998). Com isso, ROCHA & BRANDÃO (1999) destacam a importância da implantação de Redes de Referência Cadastral Municipais (RRCM), para o apoio às atividades de cadastro, devido ao elevado espaçamento das estações das redes estaduais. Sendo que as coordenadas destas redes municipais podem ser associadas a vários sistemas de projeção (UTM, RTM, LTM) e a sistemas topográficos locais (ABNT, 1998).

É de grande importância o correto georreferenciamento das coordenadas limítrofes das propriedades rurais, obtidas através de métodos de levantamentos geodésicos que garantam a precisão exigida por lei com custos adequados para a região de execução, facilitando a implantação de sistemas de informações territoriais locais com bases digitais confiáveis.

Atualmente, nos levantamentos geodésicos existe uma crescente utilização dos receptores GPS, devido à precisão fornecida por esses equipamentos e à grande queda dos custos finais dos levantamentos, quando comparado com métodos tradicionais.

2. CADASTRO DE IMÓVEIS RURAIS NO BRASIL

Com o decreto nº 1.318 de 1854 é instituída a origem do registro imobiliário no Brasil. CARVALHO (1997) define que o registro imobiliário é regido por princípios que exprimem o conjunto de regras para redirecionar a conduta. A propriedade imobiliária é tratada nos artigos 530 ao 553 do decreto lei nº 4.657, de 1942, que regulamenta o código civil brasileiro, diz que a propriedade imobiliária pode ser adquirida pela transcrição do título de transferência no registro de imóvel pela acessão, pelo usucapião e pelo direito hereditário.

A lei brasileira nº 6.015 de 31 de dezembro de 1973 (ou lei de registro público de terras) estabelece o princípio da especialidade para o registro de imóveis. Sendo que este princípio no Brasil não considerava os conceitos e procedimentos da geodésicos. Entretanto, MORAES (2001) destaca que o princípio da especialidade permite formar o vínculo do Direito Imobiliário à Geodésia, pois tem natureza dúplex em sua concepção. Com isso, foi regulamentada a lei nº 10.267 através do decreto nº 4.449, tornando o limite fundiário *De Jure* o mais próximo dos limites fundiários *De Facto*, devido o acréscimo dos princípios contidos na Geodésia.

3. A IMPORTÂNCIA DO LIMITE FUNDIÁRIO

Numa ação de demarcação a definição do limites fundiários (dos prédios rústicos de área contínua destinada à exploração agrícola) é realizada através da caracterização de suas extremas, fazendo-se necessário a identificação do imóvel rural no registro imobiliário, com a citação dos proprietários envolvidos no processo de demarcação.

No direito imobiliário existe distinção entre limites *De Iure* e limites *De Facto*. Os limites *De Iure* são os que constam no título de domínio de documentos, já os limites *De Facto* são os limites transplantados do título para o terreno, o que acarreta a aviventação efetiva dos limites que discriminam o prédio daqueles que são contíguos. Sem a discriminação *De Facto* não garante-se a certeza da exclusividade, devido à imprecisão dos contornos que são indispensáveis para o princípio da especialidade. O direito de propriedade é exercido quando se conhece exatamente o limite dos imóveis. Entende-se por limite de prédio rústico as linhas que no terreno separam um prédio de outros que o circundam. Na ação de demarcação são fixados os marcos que definem as linhas divisórias, ficando aos proprietários o direito de reivindicarem a invasão dessas linhas divisórias, sendo ressarcidos com indenização. O título da propriedade tem fundamental importância para designação do imóvel para instrução da petição inicial do processo de demarcação. No código do processo civil, o título funciona como instrumento de discriminação das terras. Sendo que o domínio imobiliário adquirido por sucessão hereditária ocorre pela transcrição no registro de imóveis do título de propriedade.

O imóvel em que se deseja fazer a demarcação deve ser descrito pelo autor da ação na petição inicial, descrevendo dados como sua denominação, sua numeração e a situação do imóvel. A descrição dos limites é imposta pelo código do processo civil ao autor, devendo descrever os limites na petição inicial, pretendendo-se fazer a constituição e aviventação destes limites. A materialização dos limites é necessária para que o autor indique a linha que pretende ser traçada. A descrição ou indicação dessa linha divisória é de fundamental importância, pois sua falta torna inválida a petição inicial. Os passivos na ação de demarcação são chamados de confrontantes, na petição inicial, pois se confrontam com a linha da divisa.

Os levantamentos geodésicos envolvidos no processo de demarcação são realizados em duas fases por exigência pericial, quando é proferida a sentença de procedência da demarcação, sendo determinada em duas fases. Na primeira fase realiza-se o procedimento demarcatório, onde se determina o traçado da linha de demarcação. A falta do traçado dessas linhas divisórias acarreta em anulação da sentença, que é proferida pelo Juiz. Na segunda fase, as extremas são fixadas e são estabelecidos os memoriais da caracterização de extremas e a caracterização de entes naturais, devendo-se gerar novos memoriais, caso estes entes naturais não sejam caracterizados corretamente.

4. REDES DE REFERÊNCIA CADASTRAL MUNICIPAL – RRCM

Devido a necessidade do mapeamento cadastral de pequenas áreas, como o parcelamento de imóveis rurais, verifica-se a necessidade de implantação no âmbito municipal de redes de referência cadastral para referenciar todos os serviços topográficos de demarcação das áreas rurais e obras de infra-estrutura da região que abrange o município.

Os municípios que desejam implantar essas redes de referência cadastral devem seguir as diretrizes da norma NBR 14.166, de agosto de 1998, sendo que fica a cargo da administração municipal a atribuição e responsabilidade da implantação e manutenção das mesmas. Os marcos geodésicos de apoio imediato devem necessariamente apoiar-se em marcos geodésicos do IBGE, esses marcos devem ser implantados próximos a área municipal, e devem ser localizados preferencialmente no cume das elevações e se possível em propriedades públicas, numa densidade aproximada de 3 km² por ponto, nas áreas urbanizadas, e 16 a 50 km² nas áreas rurais. ROCHA & BRANDÃO (1999) diz que a Rede de Referência Cadastral Municipal (RRCM) deve apresentar uma precisão suficiente para ser utilizada pelas atividades que serão referenciadas na Superfície Física Terrestre (SFT).

5. A IMPORTÂNCIA DE UM GIS CADASTRAL INTEGRADO

Novos tipos de sistemas de informação territorial e modelos de dados são necessários para a titularidade progressiva das parcelas rurais. A informação territorial atualizada diminui os riscos de efetuar erros e auxilia na identificação de problemas de parcelamento (DALE & MCLAUGHLIN, 1988).

Para atuar sobre o mundo real e dele explorar as suas riquezas o homem precisou aperfeiçoar tecnologias e conhecimentos, considerando as unidades ambientais quanto às suas localizações, formas, distribuições, escalas e limites, com grande atenção para o levantamento do meio físico e dos recursos naturais (MENEZES, 1993).

Pode-se obter uma relação direta entre a informação espacial e o processo de tomada de decisão pelo uso de um Sistema de Informação Geográfica (SIG) que forneça funções de análises espaciais adequadas para um melhor entendimento e conhecimento dos problemas existentes no meio ambiente. Uma das principais vantagens da aplicação de um SIG é a capacidade de realizar diversas simulações antes de efetuar qualquer tipo de ação. MEADEN & KAPETSKY (1991) destacam os elevados custos necessários tanto à implantação de estações de trabalho com elevada capacidade de processamento e armazenamento de dados, como para a formação de recursos humanos qualificados para o entendimento da tecnologia e dos métodos de análises espaciais.

Um Sistema de Informação Territorial (*Land Information System - LIS*) é bastante similar aos Sistemas de Informações Geográficas (SIG). No entanto, em um LIS a informação é organizada em torno da parcela cadastral, normalmente a propriedade (imóvel). O trabalho em um LIS focaliza o imóvel em escalas grandes, próprias para cadastros imobiliários e no SIG os trabalhos são ligados ao planejamento estratégico a nível regional. O cadastro técnico multifinalitário desempenha papel fundamental na análise ambiental, uma vez que otimiza a parametrização de modelos explorados de planejamentos e garante fidelidade e precisão na obtenção de dados, sem desconsiderar aspectos físicos, sociais e políticos envolvidos na região avaliada (RENUNCIO, 1995).

6. AQUISIÇÃO DE INFORMAÇÃO CADASTRAL

O registro cadastral tem o direito da posse de todas as informações armazenadas em seus sistemas e seu armazenamento é baseado no levantamento cadastral. Para cada regularização de novos títulos, as parcelas dos imóveis rurais são levantadas através de métodos e técnicas para a representação geométrica dos limites para armazenamento em banco de dados espaciais. CHRISTENSEN (1999) descreve várias alternativas de métodos de levantamentos, comparando-as em termos de tempo e custo, e mostra também através de exemplos como o custo pode ser alocado para diferentes partes no processo, onde inclui o governo, as autoridades locais e os beneficiados (os proprietários).

Na base de dados de um sistema de informação os títulos podem ser separados, tornando as parcelas individuais diferenciadas. As componentes espaciais da base de dados podem ser adquiridas através de levantamentos geodésicos com a devida precisão exigida pela lei. A base de dados digitais de um sistema de informação territorial pode facilitar o intercâmbio de informações entre o órgão cadastral e os cartórios de registros de imóveis.

7. ÁREA DE TESTES

A área escolhida para a realização da pesquisa, fica localizada no município de Agudos do Sul, no Estado do Paraná. Agudos do Sul está localizado na microrregião do Alto Rio Negro, na latitude de 25°59'05"S e na longitude de 49°20'05"W, com altitude de aproximadamente 900 metros.

8. PROCEDIMENTOS

A metodologia utilizada para a obtenção de estremas segue os procedimentos básicos necessários para definir o limite fundiário de propriedades rurais por meio da utilização de técnicas geodésicas de levantamento cadastral. A execução dos

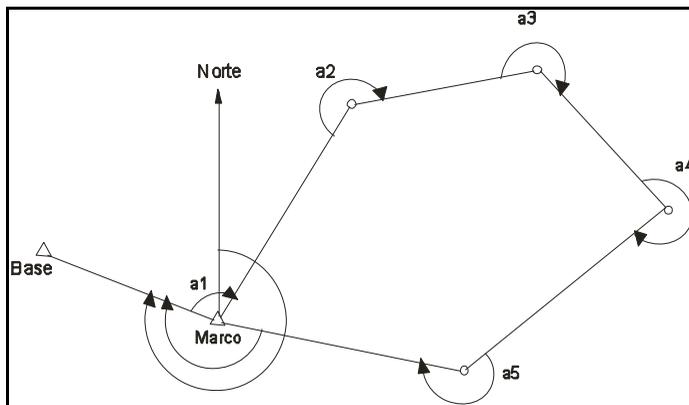
testes de levantamento é realizada utilizando-se técnicas de topográficas convencionais e posicionamento GPS. Sendo que as etapas seguintes resumem a abordagem adotada.

- 1 - Levantamento plani-altimétricos das glebas com técnicas convencionais;
- 2 - Levantamento GPS estático rápido das glebas;
- 3 - Avaliação das coordenadas obtidas;
- 4 - Análise da viabilidade econômica das técnicas utilizadas.

8.1. TÉCNICA CONVENCIONAL COM USO DE ESTAÇÕES TOTAIS

Não existe no município de Agudos do Sul uma estrutura geodésica de referência densificada até o local do levantamento. Por este motivo, houve a necessidade de implantar uma estrutura geodésica de referência, no âmbito da área piloto, para a realização do trabalho. No local foram identificados os pontos dos limites das propriedades a serem medidas. Verificou-se a situação dos pontos com relação à estrutura geodésica de referência, planejando-se assim qual a maneira mais fácil de georreferenciá-los e de definindo-se os procedimentos mais adequados para a medição dos mesmos. A poligonal que foi executada foi representada na caderneta de campo, conforme o esboço da Figura 01.

FIGURA 01 - POLIGONAL FECHADA DESENVOLVIDA NO PLANO TOPOGRÁFICO



8.2. LEVANTAMENTOS GPS

Foi realizado o levantamento de duas glebas. Inicialmente procedeu-se a determinação das coordenadas geográficas WGS84 do marco BASE. Utilizou-se a técnica de levantamento estático clássico, com uma taxa de gravação de dados igual

a 5 segundos e com um tempo de rastreo de 3 horas e 40 minutos, sendo que nesta sessão foi resolvida a maior parte das ambigüidades. A estação base situada perto de uma igreja foi calculada em relação ao marco PARA, da RBMC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo), situado nas dependências do Centro de Politécnico, da Universidade Federal do Paraná. Este marco está distante aproximadamente 65 km do marco BASE e cujas coordenadas WGS84 encontram-se na Tabela 01. O pós-processamento dos dados foi realizado com o programa *Ashtech Solutions 2.5*.

TABELA 01 - COORDENADAS WGS84

Marco	Latitude (f) S	Longitude (l) W	h (m)
PARA	-25° 26' 54,12910"	-49° 13' 51,43680"	925,759
BASE	-26° 02' 36,54798"	-49° 15' 26,16421"	836,152

Para o levantamento do Marco de Referência (Figura 02), situado em uma das propriedades, aplicou-se a técnica de posicionamento relativo estático clássico e os pontos que definem os limites da propriedade foram levantados com o método estático rápido. Foram empregados receptores *Ashtech Reliance* de uma frequência (L1, C/A). As coordenadas foram obtidas por meio do pós-processamento dos dados através do aplicativo *Reliance*.

FIGURA 02 - POLIGONAL FECHADA DESENVOLVIDA NO PLANO TOPOGRÁFICO



Para o processamento destes pontos utilizou-se o Marco de Referência descrito acima, cujas coordenadas geodésicas encontram-se indicadas na Tabela 02

TABELA 02 - COORDENADAS WGS84 DO MARCO DE REFERÊNCIA

Ponto	Latitude (f) S	Longitude (l) W	h (m)
Marco de Referência	-26° 02' 28,21556"	-49° 15' 08,98527"	834,347

O levantamento foi realizado com uma taxa de gravação dos dados igual a 1 segundo e com um tempo de permanência nos pontos de 5 minutos. As coordenadas finais foram obtidas por meio do pós-processamento dos dados através do aplicativo *Reliance*. Para os pontos levantados foi elaborado um mapa final, com os pontos georreferenciados, através do aplicativo *AutoCad R-14*. Foi realizada a devida transformação das coordenadas geodésicas (f, l, h), do sistema WGS84 para SAD69, pois, para a regularização fundiária, de acordo com atual legislação cadastral, deve-se utilizar as coordenadas geodésicas do sistema de referência oficial em vigor no Brasil.

9. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho, procurou-se enfatizar a importância dos levantamentos geodésicos para garantir a qualidade da representação da superfície cadastral no registro de imóveis rurais. Também buscou-se estudar a especialidade jurídica de modo que permita a implantação de sistemas de informação adequados ao controle administrativo dos órgãos governamentais.

Também foram realizados alguns levantamentos de teste com técnicas geodésicas atuais com a finalidade estudar de implementação do cadastro rural. Os experimentos de campo foram executados após uma pré-análise da situação das propriedades e dos pontos necessários ao cadastro. Verificou-se, com isso a necessidade do estabelecimento de um marco geodésico de referência no município escolhido.

Além de estudar os métodos que podem ser utilizados para alcançar a precisão exigida pela lei em vigor, é importante levar em conta a geração e atualização de bancos de dados cadastrais para o planejamento rural. O uso racional de um SIG pode permitir uma melhor manipulação e análise dos dados, com o cruzamento de informações entre os órgãos responsáveis pelo cadastro e o registro de terras.

10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BORDALO, A. O cadastro, o registro da informação sobre a propriedade imobiliária e os direitos do cidadão. **Revista Cartografia e Cadastro**, 1996

CARVALHO, A. **Registro de Imóveis**. 4 ed. Rio de Janeiro: Forense, 1997

CHRISTENSEN, S.F. **Innovative land surveying and land registration in Namíbia**. DPU working paper n.93. 73f. University College London, 1999.

DALE, P.F.; MCLAUGHLIN, J.D. **Land information management: an introduction with special reference to cadastral problems in third world**

countries, Oxford: Clarendon Press, 1988.

MEADEN, G.J.; KAPETSKY, J.M. **Geographical information systems and remote sensing in inland fisheries and aquaculture**. FAO Fisheries Technical Paper n. 318. 262f Roma: FAO, 1991.

MENEZES, P.R. **Sistemas de informações geográficas: aplicações na agricultura**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1993.

MORAES, C.V. **Aprimoramento da concepção do modelo geodésico para a caracterização de estremas no espaço geométrico**. Curitiba, 2001. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas). Departamento de Geomática, Universidade Federal do Paraná.

RENUNCIO, N.F. **Integração de cadastro técnico multifinalitário a sistemas de informação geográfica visando a implantação de um reservatório para abastecimento de água**. Florianópolis, 1995. 203f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Catarina.

ROCHA, R.S.; BRANDÃO, A.C. Referencial geodésico no cadastro urbano. In: XIX CONGRESSO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA. **Anais**. Recife, 1999.

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) **NBR 14166: rede de referência cadastral municipal - procedimentos**. São Paulo: ABNT, 1998.

ZAKATOV, P.S. **Curso de Geodésia Superior**. Tradução do original russo de 1976. Madrid: Rubiños-1860, 1998.

11. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio recebido do engenheiro agrimensor Prof. Dr. Carlito Vieira de Moraes, da Universidade Federal de Santa Maria, do engenheiro agrimensor Dr. Artur Caldas Brandão, da Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia. Agradecem aos alunos estagiários do Laboratório de Instrumentação Geodésica, do CPGCG, pela realização dos levantamentos de teste.

Os autores agradecem também à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo fornecimento da bolsa de estudos para o mestrado e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo fornecimento da bolsa de estudos para o programa de doutorado do CPGCG.

CONTROLE DE QUALIDADE EM LEVANTAMENTOS NO CONTEXTO DA LEI Nº 10.267

João Francisco Galera Monico¹
Élcia Ferreira da Silva²

- 1 Universidade Estadual Paulista - Campus de Presidente Prudente – Departamento de Cartografia – galera@prudente.unesp.br
- 2 Fundação Insitituto de Terras do Estado de São Paulo – ITESP – Diretoria Adjunta de Recursos Fundiários - elciafs@bol.com.br

RESUMO

Os problemas tratados pela Geodésia envolvem a estimação de parâmetros incógnitos, os quais são obtidos a partir de dados experimentais. Para cada observação coletada corresponde uma equação, linear ou não, envolvendo os parâmetros de interesse. Como exemplo pode citar as medidas de ângulos e de distâncias, ou de diferença de coordenadas, para a determinação de coordenadas dos vértices de uma poligonal que delimita uma propriedade. Neste caso, as observações são coletadas, quer seja com estação total, receptor GPS, dentre outras possibilidades. No ajustamento, essas observações são expressas em função das coordenadas das estações. O controle de qualidade é um aspecto muito importante em todo processo. Neste trabalho apresentam-se alguns conceitos de controle de qualidade em Geodésia com sua aplicação no contexto da Lei Nº 10.267 que trata do Registro Público de Terras. Em seguida, apresentam-se alguns procedimentos que poderão ser úteis na definição da metodologia a ser adotada nos levantamentos que deverão atender a Lei em questão.

Palavras-chave: controle de qualidade, levantamentos geodésicos, Lei Nº 10.267

ABSTRACT

Geodetic problems are related to parameters estimation, which are obtained from experimental data. For each collected observation corresponds an equation, either linear or not, involving the parameters of interest. As an example one can refer to angle and distance measurements, or the coordinate differences of the points of a

traverse materializing a property. In this case, observations are collected, either with total station GPS receiver among others. In the adjustment, these observables are expressed as a function of the stations coordinates. The quality control is an aspect very important during all this process. In this paper are presented the concepts of quality control in Geodesy with application in the context of the Law N° 10.267, which refers to the public register of lands. Additionally, some procedures that may be useful in the definition of the methodology to be applied for surveying aiming to attend this Law are presented.

Key-words: quality control, geodetic survey, Law Number 10267

1. INTRODUÇÃO

1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Os problemas tratados pela Geodésia, tal como em algumas outras ciências, envolvem a estimação de parâmetros incógnitos, os quais são obtidos a partir de dados experimentais. A cada observação coletada corresponde uma expressão, linear ou não, envolvendo os parâmetros de interesse. Como exemplo de um problema geodésico pode citar-se a determinação de coordenadas das estações de uma poligonal que delimita uma propriedade. Neste caso, as observações são coletadas, com uma estação total, receptores GPS, dentre outras possibilidades (dados experimentais). No ajustamento, essas observações são expressas em função das coordenadas das estações (parâmetros). Os dados coletados podem estar contaminados por erros sistemáticos e grosseiros, além dos inevitáveis erros aleatórios. Esses últimos constituem numa característica das observações, as quais podem ser coletadas em número maior ou menor que o mínimo necessário para solução única do problema. Enquanto o primeiro caso conduz a um modelo matemático com dados redundantes, o segundo proporciona um modelo indeterminado.

Ao estabelecer a relação entre observações e parâmetros, o geodesta está definindo o modelo matemático funcional. A redundância de dados (ou presença de informações adicionais) possibilita a aplicação de controle de qualidade aos resultados do experimento. Na prática, o controle de qualidade já se inicia na fase do planejamento, o qual em se tratando de um levantamento geodésico envolve três fatores: economia, precisão e confiabilidade (Teunissen, 1989). Dentro deste contexto, um experimento ideal deve apresentar confiabilidade e precisão máxima a um custo mínimo. Economia expressa os custos das observações, transporte, monumentação, etc. Precisão, a qual é dada pela matriz variância-covariância dos parâmetros (coordenadas), representa a característica do levantamento em propagar

erros aleatórios. Admite-se neste caso, a inexistência de erros sistemáticos. A confiabilidade está relacionada com a habilidade das observações redundantes em detectar erros no modelo e no próprio levantamento.

Desta forma, no planejamento de levantamentos, os aspectos relacionados com confiabilidade são de extrema importância, muito embora as vezes sejam negligenciados. A coleta de dados deve ser realizada com todo o cuidado e de acordo com o planejado. Mas mesmo assim, vários fatores externos afetam a qualidade das observações. Por fim, a precisão obtida no processo de ajustamento deve ser avaliada com bastante rigor.

A nova Lei de Registros Públicos Nº 10.267 estabelece que a identificação, a localização, os limites e as confrontações dos imóveis rurais serão obtidos a partir de memorial descritivo contendo as coordenadas dos vértices definidores dos limites do mesmo, georreferenciadas ao Sistema Geodésico Brasileiro (SGB) e com precisão posicional a ser fixada pelo INCRA (Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária). Em recente Ato Normativo ficou estabelecido que a precisão posicional deve ser igual, ou melhor, que 50 cm. O decreto Nº 4.449 de 30 de Outubro de 2002, que regulamenta a Lei em questão, atribui ao INCRA a competência de certificar que a poligonal objeto do memorial descritivo não se sobrepõe a nenhuma outra que conste de seu cadastro georreferenciado, bem como atenda a precisão estabelecida pelo Ato Normativo. Essa nova Lei, juntamente com sua regulamentação, representa um grande avanço no Registro de Terras no Brasil. Desta forma, identificar procedimentos e metodologias apropriadas à auxiliar na efetiva aplicação da Lei é de extrema importância.

1.2. OBJETIVOS

Considerando os conceitos de qualidade apresentados na introdução e o que estabelece o Ato Normativo, ou seja, precisão posicional melhor ou igual a 50 cm, pretende-se nesse artigo apresentar e discutir a problemática que deve comparecer ao se efetuar um levantamento para atender o que a legislação determina e ao mesmo tempo permitir que o órgão fiscalizador disponha de elementos apropriados para avaliar e certificar o levantamento.

2. CONTROLE DE QUALIDADE EM GEODÉSIA

Em Geodésia, quando se objetiva dispor de informações de qualidade de um levantamento, o mesmo deve ser ajustado. Para tanto, deve-se dispor de redundância de observações. O ajustamento das observações propriamente dito é bem discutido em Gemael (1994). Neste artigo pretende-se inicialmente discutir sobre o teste de qualidade do ajustamento. No contexto deste trabalho, assume-se que a maioria dos trabalhos visando atender a Lei Nº 10.267 será realizada com receptores GPS.

Portanto, dentro dessa seção, os conceitos de qualidade serão abordados no contexto de ajustamento de uma rede GPS. Aspectos relacionados ao ajustamento de cada sessão individual serão apresentados na próxima seção.

2.1. TESTANDO A QUALIDADE DO AJUSTAMENTO

Para a apresentação deste tópico assume-se que o leitor tenha conhecimento suficiente dos princípios de teste de hipóteses.

2.1.1 Teste Global do Modelo

Para aplicar o Teste Global do Modelo (TGM), o qual é também conhecido como teste Qui-Quadrado (χ^2) (Gemael, 1994), a hipótese nula (H_0) é dada como: “O modelo é correto e completo”. Em termos estatísticos a hipótese é apresentada da seguinte forma:

$$H_0: E\{\hat{\mathbf{S}}_0^2\} = \mathbf{S}_0^2 \quad (01)$$

onde

$$\hat{\mathbf{S}}_0^2 = V^T PV / gl \quad (02)$$

Nessa expressão tem-se:

- V é o vetor ($n \times 1$) dos resíduos das observações (n = número de observações);
- P é a matriz dos pesos das observações ($P = \mathbf{S}_0^{-2} \Sigma_{L_b}^{-1}$);
- Σ_{L_b} é a matriz variância-covariância (MVC) das observações, a qual deve ser conhecida;
- \mathbf{S}_0^2 é definido como a variância de peso a priori;
- gl é o número de graus de liberdade dado por $(n-u)$ onde u é igual ao posto (*rank*) da matriz A ;

É importante ressaltar que para aplicar esse teste, fica implícito o conhecimento da MVC das observações. A hipótese nula H_0 conduz ao teste estatístico T dado por

$$T = V^T PV / \mathbf{S}_0^2 \quad (03)$$

o qual, caso atenda H_0 , segue a distribuição χ^2 com média $(n-u)$, isto é:

$$T \approx \mathbf{C}_{(n-u)}^2 \quad (04)$$

Depois da seleção do nível de significância α , o valor de $\mathbf{C}_{(n-u)}^2$ pode ser obtido a partir de tabelas disponíveis. Este valor é então comparado com T ; e se:

$$T \leq \mathbf{c}_{\mathbf{a}^{(n-u)}}^2, \quad (05)$$

o teste não indica contradição entre as observações e o modelo matemático. Note, no entanto, que o teste não prova a validade do modelo.

No caso oposto, isto é, quando $T > \mathbf{c}_{\mathbf{a}^{(n-u)}}^2$, tem-se a necessidade de investigar porque o modelo matemático, observações ou ambos estão incorretos. As possíveis causas dos erros podem estar relacionadas com o modelo funcional, modelo estocástico, observações e cálculos. A detecção das fontes de erros é usualmente uma tarefa um tanto difícil. No entanto, todo esforço deve ser feito para obter um modelo matemático que descreva a realidade física com uma aproximação melhor que a precisão das observações.

O teste global do ajustamento as vezes tem levantado dúvidas a respeito do fator de variância *a priori* e *a posteriori*. Essa dúvida seria totalmente eliminada se a matriz peso for simplesmente definida como o inverso da MVC das observações, a qual deve ser conhecida para aplicar o teste global. Neste caso obtém-se:

$$T = V^T P V. \quad (06)$$

Rejeita-se o teste se

$$T > \mathbf{c}_{\mathbf{a},gl}^2. \quad (07)$$

2.2. IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA DO AJUSTAMENTO

Para abordar o tópico relacionado com a identificação do problema nos casos em que o TGM falhar, assume-se que qualquer especificação inadequada relacionada com o modelo funcional, bem como erros nos cálculos, possa ser, de uma forma ou outra, identificada. Esses problemas são específicos para cada caso e fogem ao objetivo desse artigo. Serão apresentados detalhes para o problema relacionado com erros nas observações (*outlier*) e modelo estocástico. O entendimento desses dois problemas auxiliará numa análise crítica de qualquer levantamento geodésico.

2.2.1 Detecção de erros nas observações

Os erros das observações podem ser classificados em aleatórios, sistemáticos e grosseiros. Os erros aleatórios são inevitáveis, usualmente pequena diferença entre a observação e o valor esperado. Eles são tratados como variáveis aleatórias, seguindo, portanto funções estatísticas. Na teoria da estimação e de testes estatísticos, esses erros são, em geral, considerados como tendo distribuição normal.

Os erros sistemáticos ou *bias* (tendência) apresentam-se como a diferença entre o modelo funcional e a realidade. Teoricamente é possível eliminar estes erros pelo refinamento do modelo matemático, mas muito difícil na prática. Os erros grosseiros resultam de mau funcionamento dos aparelhos ou problemas relacionados ao fator humano. Como exemplo típico cita-se: falta de atenção do operador num procedimento operacional. No mínimo, os erros grosseiros podem ser evitados se cuidados especiais forem tomados.

Esta descrição dos erros é muito importante para a compreensão dos modelos de ajustamento, mas não ajuda no desenvolvimento de uma estratégia para a detecção de erros. Isto se deve ao fato da impossibilidade de separar os erros no mundo real de acordo com sua classificação. O processo de estimação proporciona resíduos que possuem uma mistura de todos os tipos de erros.

Algumas propriedades estatísticas dos resíduos são requeridas para atacar o problema. Um *outlier* é definido como um resíduo que contradiz tal propriedade estatística. Isto possibilita definir uma estratégia de teste usando conceitos estatísticos, dependendo, portanto do nível de risco e distribuição assumidos, bem como do procedimento do teste. Independente da diferença entre a definição de erro grosseiro e *outlier*, assume-se que os *outliers* detectados são causados por erros grosseiros.

As estratégias de detecção de *outlier* têm suas raízes alicerçadas nos trabalhos do Professor Baarda da Universidade Técnica de Delft (Baarda, 1968), cuja técnica é denominada *Data Snooping*. Pope (Pope, 1973), seguindo linhas similares a de Baarda apresentou outro método, o qual é denominado de *Método de Pope*. Mais recentemente surgiu o *Danish Method* (Kraurp et al, 1980). Neste artigo apresentam-se apenas os dois primeiros, os quais fazem parte de programas computacionais de uso rotineiro no processamento de dados GPS.

Método de Baarda : *Data Snooping*

Neste método utiliza-se a convenção de que somente uma *outlier* está presente em cada teste. Desta forma, ao testar a presença de um *outlier* na observação (i), o teste de hipótese assume a seguinte forma:

$$H_0 : E\{L\} = AX \quad \text{versus} \quad H_{a_i} : E\{L\} = \left(A \quad C_{L_i} \right) \begin{pmatrix} X \\ \nabla_i \end{pmatrix}; \nabla_i \neq 0 \quad (08)$$

onde

$$C_{L_i} = \left(0 \quad \dots \quad 0 \quad 1 \quad 0 \quad \dots \quad 0 \right)^T \quad (09)$$

(i)

Na equação 09, $E\{.\}$ denota a esperança matemática e ∇_i é o *outlier*. O teste correspondente é dado por:

$$\text{Rejeita } H_0 \text{ se } w_i \langle k_a^{1/2} \text{ ou } w_i \rangle k_a^{1/2} \quad (10)$$

onde

$$w_i = \frac{C_{L_i} PV}{\sqrt{C_{L_i} P \Sigma_V P C_{L_i}}} \quad (11)$$

$$k_a^{1/2} = \sqrt{\mathbf{C}_{a,1}^2}$$

Na expressão (11), Σ_V é a MVC dos resíduos (veja Gemael, 1994) e $\mathbf{C}_{a,1}^2$ é obtido a partir da tabela da distribuição Qui-quadrado. Observe que o número de graus de liberdade neste caso é um, que corresponde ao número de *outlier* sendo testado. Se o teste rejeitar H_0 , suspeita-se que há um *outlier* na observação (i).

Aplicando o teste sucessivamente para cada uma das observações (1, ...,n), testa-se todas elas.

Método de Pope: Teste *Tau*

A diferença fundamental entre o método de Pope e de Baarda reside no fato de considerar que se conhece ou não o fator de variância a priori (\mathbf{S}_0^2). No método de Baarda assume-se que este fator é conhecido, possibilitando aplicar o TGM. No método de Pope, \mathbf{S}_0^2 é desconhecido e conseqüentemente não se aplica o TGM. O método de Pope é baseado no resíduo padronizado dado por:

$$t_i = \frac{v_i}{s_{v_i}} \quad (13)$$

onde s_{v_i} é o valor estimado do desvio-padrão do resíduo. Este valor é obtido a partir da extração da raiz quadrada do enésimo elemento da diagonal de Σ_V .

Tanto o resíduo como o seu desvio-padrão são usualmente estimados a partir dos mesmos dados, sendo, portanto estatisticamente dependentes. Desta forma, a razão dada pela expressão (13) não segue a distribuição t de *Student*. Esta expressão

é governada pela distribuição *Tau* (τ) com (n-u) graus de liberdade (gl). Tem-se, portanto:

$$t_i = \frac{v_i}{s_{v_i}} \approx \mathbf{t}_{(gl)} \quad (14)$$

A tabela da distribuição *Tau* não é facilmente encontrada nos livros de estatística, tal como é a da distribuição t de *Student*. É, portanto conveniente apresentar a expressão que converte a variável \mathbf{t} em τ e vice-versa:

$$\mathbf{t}_{(gl)} = \frac{\sqrt{gl} \ t_{(gl-1)}}{\sqrt{gl-1 + t_{(gl-1)}^2}} \quad (15)$$

$$t_{(gl-1)} = \sqrt{\frac{(gl-1)\mathbf{t}_{(gl)}^2}{gl - \mathbf{t}_{(gl)}^2}} \text{ para } \mathbf{t}^2 < gl$$

Ao definir a hipótese nula H_0 do método de Pope, assume-se também que todas as observações têm distribuição normal. Desta forma, os resíduos estimados no método paramétrico tem média nula, isto é:

$$H_0: E\{v_i\} = 0 \quad \forall i \in \{1,2,\dots,n\} \text{ versus } H_a: E\{v_i\} \neq 0 \quad (16)$$

A probabilidade do erro tipo I do teste, isto é o nível de significância α , o qual consiste dos n testes individuais, é usualmente escolhido como sendo 5%. O nível de significância α_0 para o teste unidimensional é dado aproximadamente por:

$$\mathbf{a}_0 = 1 - (1 - \mathbf{a})^{1/n} \quad (17)$$

A hipótese nula H_0 é rejeitada para um resíduo v_i se:

$$t_i < \mathbf{t}_{\alpha_0/2}(gl) \text{ ou } t_i > \mathbf{t}_{\alpha_0/2}(gl) \quad (18)$$

A observação correspondente ao resíduo testado é por definição um *outlier* e desta forma um candidato à investigação adicional.

Tanto o método de Baarda (*Data Snooping*) como o de Pope (Método *Tau*), baseia-se no fato de que somente uma observação é afetada por um erro grosseiro. Se mais de uma observação contém erros grosseiros, a teoria falha. O seguinte procedimento é aconselhável para os casos em que mais de uma observação é rejeitada. Deve-se primeiramente analisar a observação com maior valor w_i ou τ_i . Despreza-se tal observação e repete-se o ajustamento, aplicando o método novamente. O processo se repete até que não haja mais observações suspeitas de conter *outliers*. No entanto, o analista deverá verificar se há qualquer problema com a eliminação da observação. Se isto ocorrer, é provável que o dado tenha que ser coletado novamente.

2.2.2 Corrigindo o modelo estocástico

Uma vez que os erros grosseiros ou *outliers* forem eliminados, é de se esperar que o ajustamento seja aceito pelo teste global do modelo (Eq. 05). No entanto, nos trabalhos com redes GPS, isso raramente ocorre. Os resultados advindos do processamento GPS das sessões individuais são muitos otimistas. Logo, deve-se reavaliar o modelo estocástico de cada uma das sessões. Isto é, a MVC dos vetores GPS deve ser escalada, isto é, multiplicada por um determinado número. A experiência tem mostrado que esse escalar é por volta de 10 (Monico and Perez, 2001). Mas, uma vez que todos os erros grosseiros estiverem eliminados, pode-se utilizar o fator de variância a posteriori do ajustamento como sendo o escalar. Desta forma, a nova MVC das observações ($\Sigma_{L_b}^n$) passa a ser:

$$\Sigma_{L_b}^n = \hat{\mathbf{S}}_0^2 \Sigma_{L_b} \quad (19)$$

É importante ressaltar que a correção do modelo estocástico só pode ser realizada após a eliminação dos erros grosseiros. Caso contrário, pode-se aceitar um ajustamento com observações eivadas de erros.

2.3. CONFIABILIDADE INTERNA E EXTERNA

A confiabilidade interna é uma medida da dimensão do erro do modelo que pode ser detectada com uma certa probabilidade. Para o caso da detecção de *outliers* (*Data snooping e Pope*) tem-se:

$$|\nabla| = \left[\frac{\mathbf{I}_0}{C_{L_i}^T P \Sigma_v P C_{L_i}} \right]^{1/2} \quad (20)$$

onde $|\nabla|$ é chamado o menor erro detectável (MED) pelo modelo. Se a MVC das observações é diagonal, a expressão se reduz a:

$$|\nabla| = \mathbf{s}_{l_i} \left[\frac{\mathbf{I}_0}{(1 - \hat{\mathbf{S}}_{l_i}^2 / \mathbf{s}_{l_i}^2)} \right]^{1/2} \quad (21)$$

Na expressão (20) \mathbf{I}_0 é o fator de não centralidade para o caso em que a potência do teste $\mathbf{g}=\mathbf{g}_0$. É usual adotar $\mathbf{g}_0=80\%$. Na Tabela 1 são mostrados alguns valores típicos de γ , dados em função de α (nível de significância), graus de liberdade (q) e λ .

Tabela 1: Potência do Teste (γ) para diferente valores de α , q e λ

$\alpha=0.01$	q=1	q=7	$\alpha=0.1$	q=1	q=7	$\alpha=0.05$	q=1	q=7
$\lambda=1$	0.1227	0.0415	$\lambda=1$	0.4099	0.2272	$\lambda=1$	0.2950	0.1378
$\lambda=4$	0.5997	0.2710	$\lambda=4$	0.8817	0.6288	$\lambda=4$	0.8074	0.5017
$\lambda=9$	0.9522	0.7363	$\lambda=9$	0.9953	0.9355	$\lambda=9$	0.9888	0.8874

Quanto menor o MED melhor a confiabilidade da rede planejada. O MED será grande se $\hat{\mathbf{S}}_{l_i}^2$ é próximo de $\mathbf{s}_{l_i}^2$ e pequeno se $\hat{\mathbf{S}}_{l_i}^2$ for bem menor que $\mathbf{s}_{l_i}^2$. Uma conclusão simples que se pode tirar desta seção é sobre a necessidade de dispor de observações redundantes para que se possa efetuar o ajustamento.

A confiabilidade externa é definida como a influência do erro no modelo sobre os resultados finais de um ajustamento. Desta forma, é muito importante saber a influência no resultado final de um erro não detectado. Detalhes podem ser encontrados em Teunissen (1998).

3. LEVANTAMENTOS GPS PARA FINS DE REGISTRO DE IMÓVEIS RURAIS

Considerando que a maioria dos levantamentos visando atender a Lei Nº 10.267 será efetuada com a tecnologia GPS, não será abordada neste artigo a questão dos levantamentos terrestres realizados com estação total, por exemplo. Desta forma, um dos pontos que merece ser discutido diz respeito ao método de levantamento GPS a ser utilizado, ou mais especificamente a metodologia a ser seguida. Nesse contexto, é importante que se considere a confiabilidade do levantamento, sendo a mesma de extrema importância para que o INCRA estabeleça parâmetros ou elementos com os quais possa avaliar e aprovar ou não o levantamento, não perdendo de vista o aspecto de custo mínimo na obtenção de tais elementos.

3.1 METODOLOGIAS PROPOSTAS PARA OS LEVANTAMENTOS GPS

Muito embora seja possível realizar posicionamento por ponto com boa precisão, (Monico, 2000a), dentro do contexto deste trabalho limitar-se-á apenas aos métodos de posicionamento relativo, quer seja utilizando a observável fase da onda portadora ou pseudodistância. Considerando que a precisão exigida deve ser melhor que 50cm, resta responder qual a metodologia a ser adotada para atender esse nível de exigência.

Um primeiro ponto a ser discutido é que essa precisão diz respeito a planimetria. Logo, cada uma das coordenadas planas E e N, num sistema topográfico local, ou mesmo na projeção UTM, deve apresentar precisão melhor que 35,35 cm. A princípio, não deve comparecer maiores problemas para se obter esse nível de precisão com o posicionamento relativo, mesmo que com a pseudodistância. Claro que isso depende da distância da estação base, condições atmosféricas, qualidade do receptor, etc. Vale ressaltar que é muito importante que a estação base faça parte da rede GPS do IBGE; não é aconselhável utilizar um ponto da rede clássica, mesmo que ele tenha participado do reajustamento da rede. O erro sistemático presente em qualquer um desses vértices é, geralmente, superior a precisão requerida nos levantamentos para fins de registro de terra. E está implícito no Decreto que os levantamentos não devem apresentar erros sistemáticos.

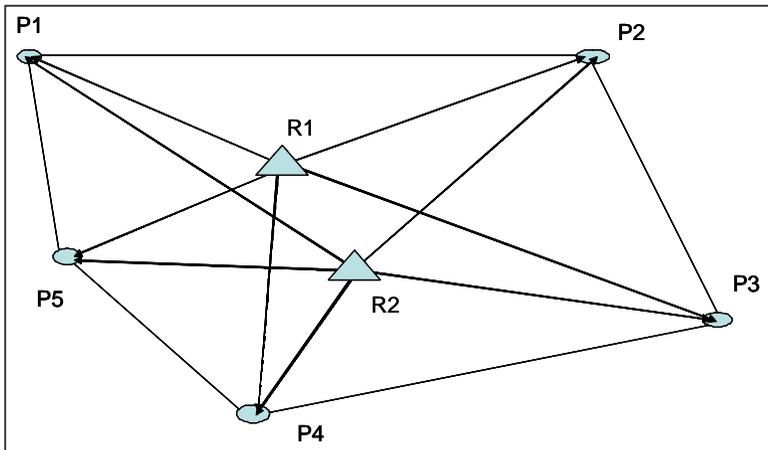
Um outro aspecto muito importante é que os resultados dos processamentos dos dados oriundos de levantamentos GPS são, em geral, muito otimistas. Em alguns resultados encontrados na literatura comparece um fator de escala da ordem de dez (10). Logo, ao verificar que a precisão de um levantamento é, por exemplo, da ordem de 10cm, resultado esse que provém da MVC do processamento de uma linha base, o mesmo não deve, a princípio, ser aceito. É nesse momento que o aspecto de confiabilidade da rede deve comparecer, para que o resultado possa ser confrontado com outro. Logo, parece evidente que no levantamento de uma propriedade deve comparecer redundância. Como proceder então?

Apresentam-se a seguir algumas sugestões que deverão ser refletidas pelos responsáveis pela análise e proposições de normas para os levantamentos em questão. Em termos de precisão, para uma propriedade que dispõe de estações bases próximas ou transportadas para dentro da propriedade, pode-se aplicar o método relativo estático rápido. O transporte de coordenadas para a região deve seguir as normas padrões (preliminares) estabelecidas pelo IBGE (IBGE, 1996). A partir de então, há algumas opções para realizar o levantamento. Elas estão descritas a seguir.

1- Cada vértice da propriedade deve ser ocupado pelo menos duas vezes. Neste caso, após o processamento de cada linha de base individual e independente, torna-se possível realizar um ajustamento, pois há redundância, e estimar com maior confiabilidade a precisão das coordenadas. Cada uma das duas ocupações deve ser

independente. A figura 1 ilustra esse procedimento. Pode-se observar que todos os vértices da propriedade foram ocupados a partir do levantamento de cada uma das estações R1 e R2.

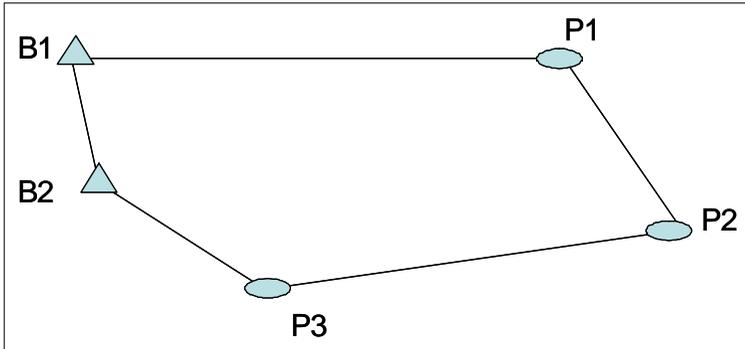
FIGURA 1: IRRADIAÇÃO A PARTIR DE DUAS ESTAÇÕES BASE.



Esse tipo de procedimento permitirá avaliar a precisão de cada um dos vértices a partir da repetibilidade das observações e não somente a partir da qualidade interna da tecnologia GPS, que como foi dito, é muito otimista. Junto com a confiabilidade melhor, vem inserido um maior custo do processo. Utilizando esse procedimento, a teoria apresentada na seção 2 pode ser aplicada. Considerando a relativa complexidade da teoria envolvida, pode-se pensar numa central de processamento de dados GPS, onde se possa realizar o ajustamento de uma forma mais ou menos automática.

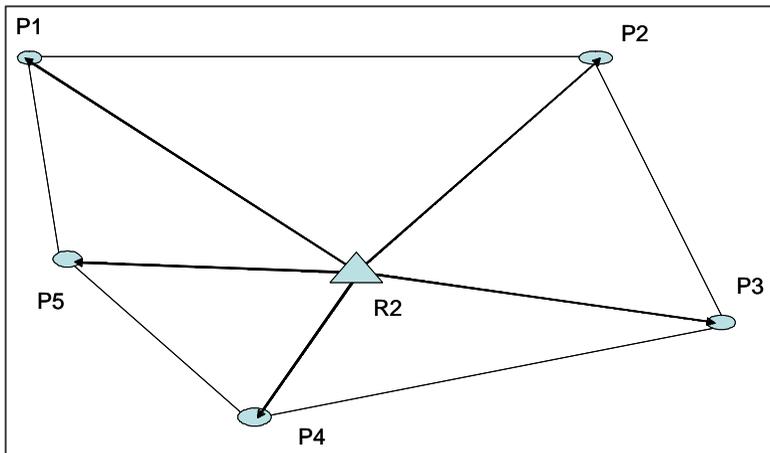
2- Levantamento dos vértices da propriedade a partir de uma poligonal GPS. Neste caso, dois vértices, que podem ser dos que delimitam a propriedade, devem ser ligados ao SGB, independentemente, e a partir deles determinam-se às linhas bases dos vértices da poligonal. A figura 2 ilustra o procedimento. Cada estação que delimita a propriedade é ocupada sucessivamente, até fechar a poligonal. Neste caso, o levantamento também apresenta redundância, sendo passível de ajustamento e aplicação da teoria discutida na seção 2. Logo, vale o mesmo comentário no que concerne a uma central de processamento de dados.

FIGURA 2: LEVANTAMENTO TIPO POLIGONAL



3- Uma outra possibilidade é a combinação de irradiação a partir de um vértice central e de poligonização ligando os vértices que delimitam a propriedade. Trata-se de uma metodologia que combina os procedimentos 1 e 2, sendo que também apresenta redundância. Logo, os mesmos comentários anteriores referentes a uma central de processamento são passíveis de serem considerados. A Figura 3 ilustra a combinação de procedimentos.

FIGURA 3: COMBINAÇÃO DE IRRADIAÇÃO E POLIGONAL GPS



Outras possibilidades poderiam ser descritas, mas acredita-se que as três mais importantes são as que foram apresentadas. Essas outras possibilidades dependeriam essencialmente dos equipamentos disponíveis para os usuários. Para aqueles que possuem um par de receptores de dupla frequência, ou um receptor de dupla e um de simples frequência, as possibilidades se ampliam. Mas em termos de redundância no levantamento, não fugiria muito do que foi apresentado, mesmo se o levantamento fosse do tipo cinemático em tempo real (RTK). Detalhes dos demais tipos de levantamentos com GPS podem ser consultados em Monico (2000).

Finalizando, é importante ainda citar que o levantamento de uma linha de base GPS, em que os dados coletados são a fase da onda portadora, pode proporcionar precisão de poucos centímetros; portanto, de qualidade muito superior ao exigido pela legislação. Nesse caso, efetuar um levantamento com redundância não levaria a despendar recursos mais do que o necessário? Esse realmente é um outro ponto que merece uma discussão mais aprofundada e está diretamente relacionada com a confiabilidade na solução da ambigüidade. Mas esse assunto será discutido numa próxima oportunidade.

4. COMENTÁRIOS FINAIS E CONCLUSÕES

Foram apresentados alguns conceitos de controle de qualidade para levantamentos geodésicos. Buscou-se contextualizar tais conceitos dentro do que está estipulado na Lei N^o 10.267. Apresentaram-se algumas possibilidades de metodologia para os levantamentos GPS, considerando aspectos de confiabilidade e precisão.

Considerando que a precisão proporcionada pelo GPS é muito otimista, mostrou-se a necessidade de dispor de levantamentos com redundância de dados. Três possibilidades foram apresentadas. A combinação de irradiação e poligonal, ilustrada na figura 3, é a metodologia que proporciona a melhor confiabilidade, mas é a de maior custo. Por outro lado, a irradiação a partir de duas estações distintas, conforme mostrado na figura 1, é uma boa opção, reduzindo custos em relação à descrita anteriormente. Finalmente, o levantamento tipo poligonal, ilustrado na figura 2, é o que deve proporcionar menor custo, porém com menor redundância.

Levando em consideração a relativa complexidade da teoria envolvida no controle de qualidade de levantamentos, sugere-se pensar na possibilidade de implementar centros regionais de processamento de dados, onde todos esses aspectos sejam considerados de uma forma mais ou menos automática.

Concluindo, deve ser ressaltado que com esse artigo não se objetiva esgotar o assunto, nem apresentar uma solução para o problema, mas apenas dar suporte ao início das discussões sobre o tema. Uma avaliação sobre a qualidade da solução da ambigüidade é um outro tema que merece atenção.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- GEMAEEL C *Introdução ao Ajustamento de Observações: Aplicações Geodésicas*, Curitiba, PR., Editora da UFPR, 1994, 319p.
- IBGE *Especificações e Normas Gerais para Levantamentos Geodésicos*, Diretoria de Geodésia, Rio de Janeiro, RJ, 1996.
- MONICO, J. F. G. and PEREZ, J. A. S. *Integration of a Regional GPS Network within ITRF using Precise Point Positioning*. In: ÁDÁM, J.; SCHWARZ, K. P. (Org.). *Vistas for Geodesy in the new millennium: IAG Scientific Assembly*. Berlin, 2001, v. 125, p. 66-71.
- MONICO, J. F. G. *Posicionamento pelo NAVSTAR-GPS: Descrição, Fundamentos e Aplicações*. Editora UNESP, São Paulo, 2000, 287 p.
- MONICO, J. F. G. *Posicionamento por Ponto de Alta Precisão: Uma Ferramenta para a Geodinâmica*. *Revista Brasileira de Geofísica*. Rio de Janeiro, RJ, v. 18, n. 1, p. 1-10, 2000a.
- TEUNISSEN, P. J. G. Quality Control and GPS. In TEUNISSEN, P.J.G.; KLEUSBERG, A. *GPS for Geodesy*. 2.ed.: Springer Verlag, 1998. p. 271-318.
- TEUNISSEN P. J. G. *Mathematische Geodesie II*, Faculteit der Geodesie, TU Delft, Delft, The Netherlands, 1989.

ESTÁGIO ATUAL DAS REDES GEODÉSICAS HORIZONTAIS E VERTICAIS NO CHILE E PERSPECTIVAS DE SUA INTEGRAÇÃO AO SIRGAS

Juan Carlos Báez Soto¹
Rodrigo Maturana Nadal²
Silvio Rogerio Correia de Freitas³

- 1 Universidad de Concepción – jbaez@udec.cl
- 2 Instituto Geografico Militar de Chile – rmaturana@igm.cl
- 3 Universidade Federal do Paraná – sfreitas@ufpr.br

RESUMO

No artigo apresentam-se o estágio atual das redes geodésicas vertical e horizontal do Chile e as perspectivas de suas integrações ao SIRGAS. Nele mostram-se o desenvolvimento dos trabalhos geodésicos numa visão histórica e análise dos fatores de degradação da qualidade das redes. Nas redes horizontais, foi efetivada uma análise das diferenças das coordenadas entre os sistemas geodésicos de referência PSAD56, SAD69 com as coordenadas preliminares do SIRGAS, num aprimoramento aos trabalhos de mudança de referencial horizontal. Na parte vertical, apresenta-se o desenvolvimento das redes verticais, suas qualidades e os efeitos produzidos pelos contínuos sismos no país. Apresentam-se a composição da rede de marégrafos e da rede gravimétrica do país. Os dois aspectos foram relacionados com os trabalhos do projeto SIRGAS que têm envolvidos os geodestas das Américas. As conclusões mostram que os trabalhos do IGM têm cumprido com os objetivos planejados pelo projeto.

Palavras-chave: Ciências Geodésicas; Sistemas de Referência; SIRGAS

ABSTRACT

In the article they come the current phase of the vertical and horizontal geodesic networks to Chile and the perspectives of the integration to the SIRGAS. It shows the development of the geodetic works in a historical perspective and analyzing the factors of degradation of the qualities of the networks. In the horizontal networks, one was made it analyzes of the differences of the coordinates among the geodesic systems of reference PSAD56, SAD69 with the coordinates preliminaries of the

SIRGAS, in an approximation to the works of change of horizontal reference. In the vertical part, it comes the development of the vertical networks, your qualities and the effects produced by the continuous seismic activities in the country. Show the composition of the tide gauges network and of the gravimetric network of the country. The two aspects were related with the works of the project SIRGAS that it has been involving to the geodesists of Americas. The conclusions show that the works of chilean Instituto Geográfico Militar have long with the objectives drifted by the project.

Keywords: Geodetic Science; Reference System; SIRGAS

1. INTRODUÇÃO

O projeto Sistema de Referencia Geocêntrico para as Américas (SIRGAS), tem envolvido cientistas e técnicos de diversos países nas tarefas de observar, analisar, processar, densificar e ajustar suas antigas redes de referência horizontais locais, assim como para a definição de um datum vertical único na América do Sul. O maior problema considerado é que as antigas redes foram desenhadas como provisórias, locais e temporais, para permitir o desenvolvimento da cartografia desses países, porém passou a ser utilizada como definitiva pela grande maioria deles.

O projeto SIRGAS foi criado em 1993 com os objetivos de: definir um sistema de referência geocêntrico para América do Sul, estabelecer e manter uma rede de referência e definir e estabelecer um datum geocêntrico. A realização foi feita em duas determinações, na primeira em 1995 foi composta por observações de 58 estações distribuídas pelo continente. Numa campanha posterior, feita durante o ano 2000, foram reocupadas as estações observadas na campanha de 1995, com estações próximas aos marégrafos e as fronteiras dos países, totalizando 184 estações, incluindo a América do Sul, América Central, América do Norte e a região do Caribe.

A mudança para um Sistema Geodésico de Referência (SGR) geocêntrico, apresenta varias vantagem com respeito aos antigos sistemas topocêntricos locais PSAD56 e SAD69, usados no Chile, alguma delas são apresentadas a seguir.

1.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS

Nos Sistemas Geodésicos de Referencia (SGR), a posição horizontal é definida independentemente da vertical, dando origem a duas redes, eles são apresentados separadamente no trabalho. Mesmo no projeto SIRGAS eles são trabalhados separadamente nos Grupos de Trabalho GTII e GTIII respectivamente.

Os dados usados pelo autor na análise foram obtidos da base de dados do Instituto Geográfico Militar do Chile (IGM) e correspondem aos dados preliminares. Na parte horizontal são as coordenadas dos pontos da rede referidos ao ITRF2000-2002,0 no primeiro ajuste feito com o Bernese 4.2, já que as coordenadas definitivas do SIRGAS foram entregues depois do presente trabalho.

2. REDES HORIZONTAIS

2.1. DESENVOLVIMENTO HISTÓRICO DAS REDES HORIZONTAIS

Os primeiros trabalhos feitos no Chile foram no ano 1893 com a medição de uma triangulação topográfica entre as localidades de Santiago e Batuco, na região central do país. Em 1900 foram feitas várias estações Astro Geodésicas para orientação e escala da rede local. Até o ano 1946 o IGM fez 70.000 km² de triangulações de I, II e III ordem (CIFUENTES et al., 2000).

No ano de 1947, o governo do Chile fez um convenio de colaboração com o Defence Mapping Agency (DMA), dos Estados Unidos (da América do Norte), para desenvolver os levantamentos aerofotogramétricos do país. Nesse convênio foi incluso o objetivo de desenvolver uma rede de triangulação geodésica de primeiro ordem, mediante uma cadeia de quadriláteros de entre 20 e 60 km de comprimento de lado, isso aproveitando as características geográficas do território de aproximadamente 37° de latitude x 2° de longitude (~4300 x 220 km). Até o ano 1955 foram feitas as triangulações dos 18° até os 45° 30' de latitude sul, com uma interrupção na área de Aisen dadas as condições geográficas do lugar. Finalmente, nos anos posteriores foram medidas várias extensões da rede original naquelas áreas do país em que a rede principal não foi suficiente.

A necessidade de definir um ponto de origem das coordenadas que possibilitasse a união das redes geodésicas dos países da América do Sul e que não fosse confundido com o datum usado na América Central e Norte fez com que o PSAD56 cujo datum posicionado na área da Canoa na Venezuela ficasse como Provisório, além disso, havia uma grande deficiência nos trabalhos gravimétricos para a determinação do modelo geoidal. Mesmo assim, os trabalhos cartográficos do Chile foram feitos com base nele e até hoje continua sendo usado.

Um ajuste das grandes redes de triangulação no sul do Brasil, permitiu a criação do ponto datum Chua, na região de Minas Geraes. Os grupos de trabalho decidiram usá-lo para a definição do Datum Sulamericano uma vez que sua posição ficara aproximadamente no meio do continente e uma vez que o ajuste geóide-elipsóide era melhor. Foram estendidas as coordenadas pelo continente indo pelo sul para o datum Uruguaio Yacare, Datum Argentino de Campo Inchauspe, datum Boliviano de San Lorenzo, por onde chegaram as coordenadas, finalmente, ao Chile (FISCHER et al, 1973).

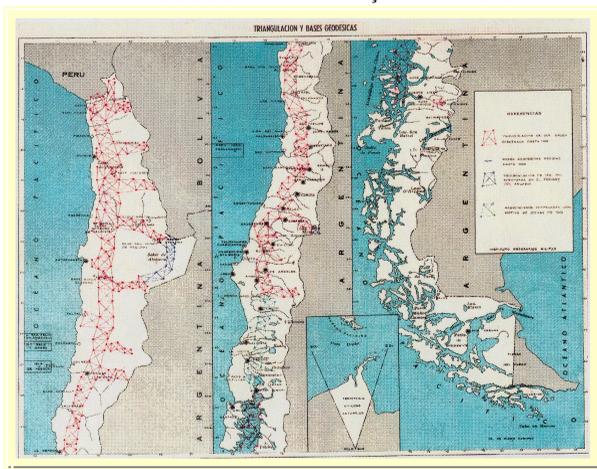
Os produtos cartográficos desenvolvidos no Chile, ficaram em PSAD56, sendo usado até os 40° de latitude. Como o afastamento elipsóide geóide é muito grande depois dos 40° de latitude, então foi usado o SAD69 já que ele tem um afastamento elipsóide geóide menor com um melhor ajuste a superfície física da terra.

Como nas regiões mais ao sul do Chile a possibilidade de fazer triangulações e muito difícil, pela geografia do lugar devido a existência de cordilheira. O surgimento da geodésia por satélite permitiu fazer determinações de coordenadas com Doppler, usando os equipamentos da Magnavox MX1502.

Para permitir o desenvolvimento dos trabalhos de levantamento geodésicos nas regiões do sul, foram feitas conjuntamente com as determinações Doppler, marcas de azimute com um Giroscópio. Com esses dois pontos poderiam ser feitos levantamentos já que o ponto Doppler permite ter coordenadas de início e, a marca de azimute fornece orientação ao levantamento. As coordenadas iniciais ficaram no Datum GRS72, próprio do sistema Doppler.

Na figura 01 apresentam-se as redes de primeira ordem geodésica feitas do norte ao sul, com uma cadeia principal e algumas transversais, incluindo as poligonais Teluométricas nas áreas de difícil acesso no sul do país.

FIGURA 01 - REDE DE TRIANGULAÇÃO DE PRIMERA ORDEM

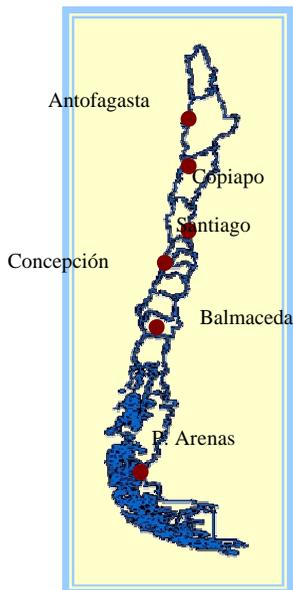


FONTE: IGM

2.2. OBSERVAÇÕES PARA O PROJETO SIRGAS.

Foram feitas duas campanhas para o SIRGAS, a primeira delas no ano de 1995. Nessa campanha o Chile aporou com 7 estações distribuídas ao longo do país, nas quais foram incluídas estações ativas fixas. Na figura 02 apresentam-se as estações.

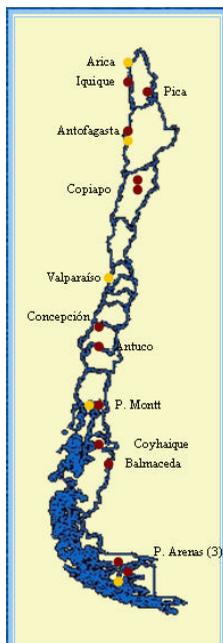
FIGURA 02 – ESTAÇÕES SIRGAS 1995 DO CHILE



FONTE IGM

Na segunda campanha do SIRGAS feita em 2000, foram observadas no Chile as 7 estações da campanha 1995 mais 8 estações novas nas áreas de fronteiras e, mais 5 estações nos marégrafos, totalizando 20 estações. Essa situação é apresentada na figura 03.

FIGURA 03 – ESTAÇÕES SIRGAS 200 DO CHILE



FONTE:IGM

Após as campanhas de 1995 e 2000, o IGM iniciou as observações para densificar a rede SIRGAS pelo país, totalizando mais de 140 estações, as quais incluem estações dos antigos vértices de triangulação e estações novas. Nos últimos meses o IGM vem desenvolvendo novos levantamentos nas áreas entre Balmaceda e Punta Arenas, para ter uma cobertura total do país.

2.3. DIFERENÇAS

No passo seguinte faremos uma análise preliminar dos resultados obtidos, comparando as coordenadas X,Y,Z dos pontos observados nas campanhas SIRGAS e os da densificação da rede. Essas coordenadas são referidas aos seguintes sistemas, e serão usadas para uma estimativa dos parâmetros de transformação do resto dos pontos da rede para o SIRGAS.

- ITRF2000 época 2002,0 (pontos observados nas campanhas SIRGAS)
- PSAD56 (da rede geodésica)
- SAD69 (da rede Geodésica)

No cálculo das coordenadas (X,Y,Z) dos pontos foram usadas as seguintes informações:

- Para o ITRF2000, as coordenadas foram obtidas do pré ajuste dos vértices observados para a densificação do SIRGAS, usando como base as estações SIRGAS 1995 e 2000, processadas com Bernese 4.2
- Para o PSAD56 foram usadas as coordenadas Latitude e Longitude dos pontos. A altitude foi calculada no modelo EGM96.
- Para o SAD69 foram usadas as coordenadas Latitude e Longitude dos pontos. A altitude foi calculada no modelo EGM96.

A primeira comparação foi feita usando as coordenadas ITRF2000, época 2002,0 menos as coordenadas PSAD56 com altura no modelo EGM96. Os gráficos 4, 5 e 6 apresentam os resultados dos (ΔX , ΔY , ΔZ):

FIGURA 04 – GRÁFICO DAS DIFERENÇAS ΔX

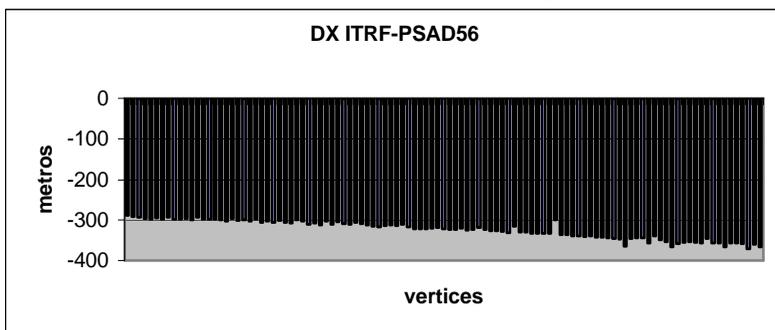


FIGURA 05 – GRÁFICO DAS DIFERENÇAS ΔY

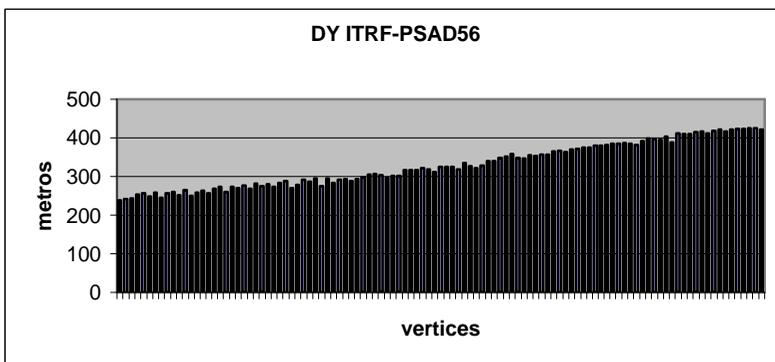
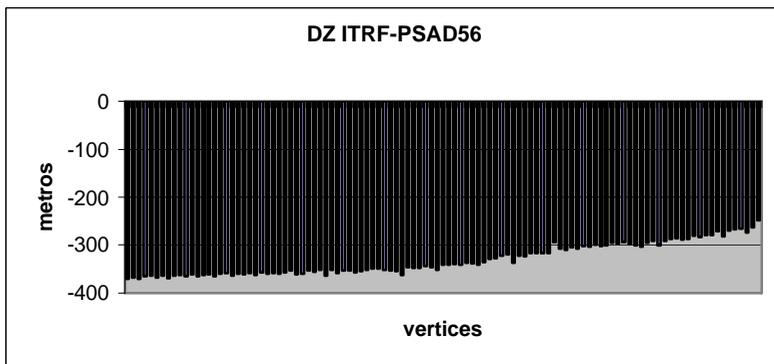


FIGURA 06 – GRÁFICO DAS DIFERENÇAS ΔZ 

Aproveitando as características geográficas do Chile, as coordenadas foram ordenadas por latitude, sendo que as variações aumentam com a latitude.

Outra experiência foi feita considerando altitude 0 (zero), para modelar melhor as diferenças sem a influencia das altitudes. Os resultados são apresentados nas figuras 07, 08 e 09.

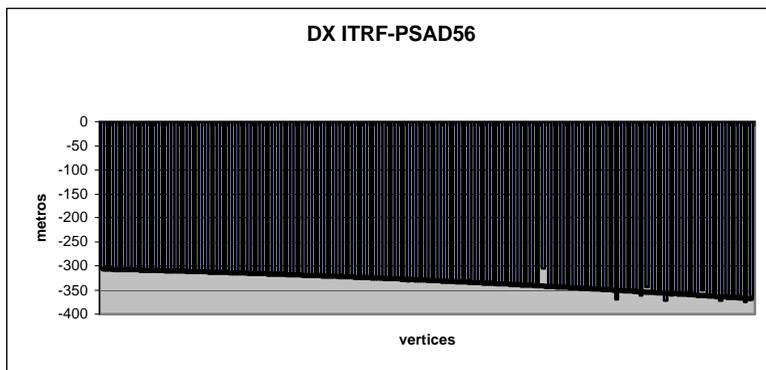
FIGURA 07 – ΔX COM ALTITUDE 0 m

FIGURA 08 – ? Y COM ALTITUDE 0 m

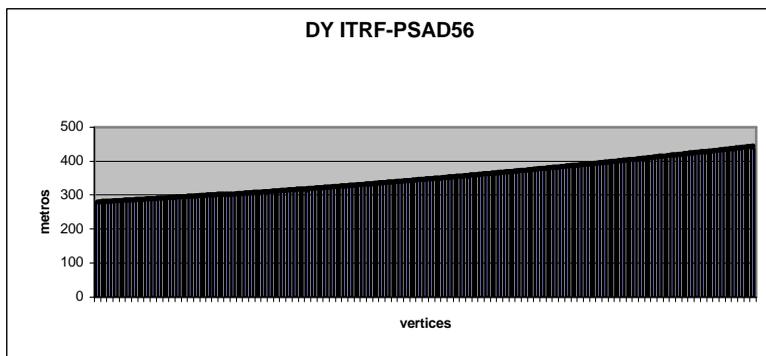
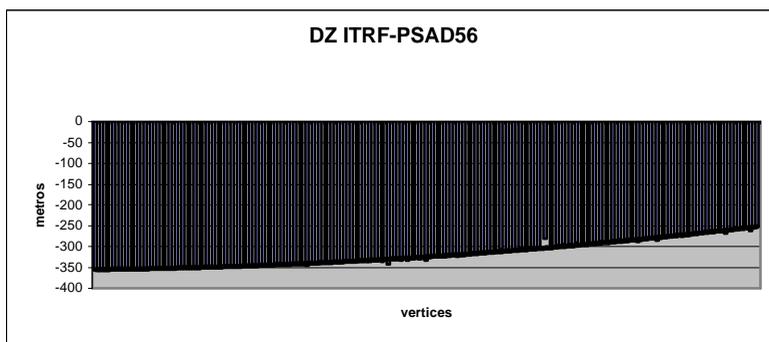


FIGURA 09 – ? Z COM ALTITUDE 0 m



Os resultados aproximam-se um comportamento polinomial o qual poderia ser usado na transformação de PSAD56 ao SIRGAS.

No caso das diferenças obtidas para o SAD69, elas foram ordenadas por latitude, como no caso anterior, usando altitude do modelo EGM96 e com altitude 0 m (zero). Os resultados apresentam um comportamento não homogêneo o que sugere uma variação em longitude. Nas figuras 10, 11 e 12 mostram-se os resultados.

FIGURA 10 – ? X COM ALTITUDE 0 m

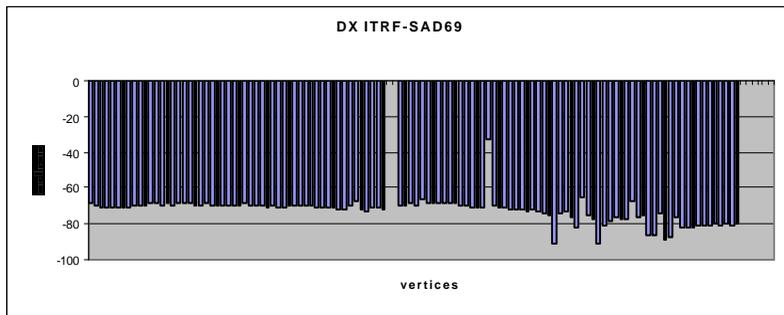


FIGURA 11 – ? Y COM ALTITUDE 0 m

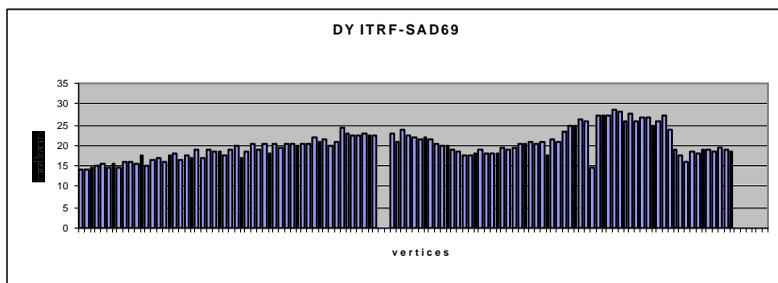
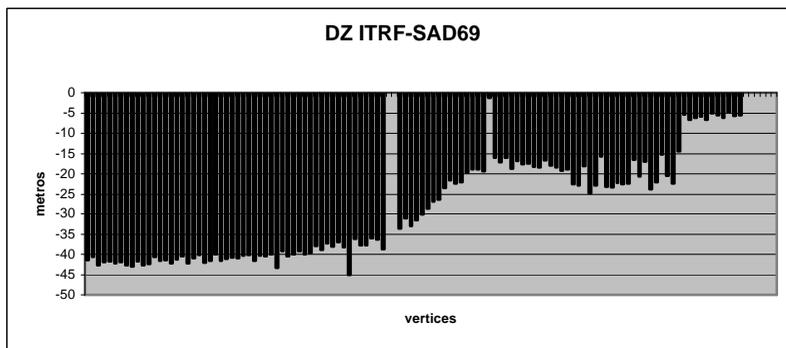


FIGURA 12 – ? Z COM ALTITUDE 0 m



O problema da altitude elipsoidal não ser conhecida nos dois casos, afeta no cálculo dos parâmetros de transformação dos SGR PSAD56 e SAD69, já que na maioria dos casos as alturas são obtidas por trigonometria e, como já foi dito a altitude nivelada é tratada num datum diferente e separadamente.

As diferenças obtidas não permitem a aplicação dos modelos usuais na transformação de referenciais, elas requerem um modelo de ajuste em blocos, mas, para a maioria das aplicações cartográficas uma precisão de 5 metros na transformação entre referenciais é suficiente.

3. REDES VERTICAIS

3.1. DESENVOLVIMENTO HISTORICO DAS REDES VETICAIS

O nivelamento geométrico efetuado pelo I.G.M. do Chile, assim como outros trabalhos de ordem geodésica, têm dois objetivos: o primeiro científico e o segundo técnico e prático.

Depois de muitos anos, o IGM tem feito uma densa rede de marcos de nivelamento de precisão as quais têm altitude de I, II e III ordem.

Esta rede já serviu em varias ocasiões, para desenvolver estudos comparativos de efeitos produzidos pelas diversas catástrofes freqüentes no Chile, como sismos, maremotos, etc.

Por outro lado, esta rede de nivelamento fornece as altitudes necessárias para os levantamentos cartográficos que o IGM faz.

As medições foram feitas com uso das especificações do I. P. G. H. e os trabalhos foram executados usando níveis Wild N3 com miras de precisão tipo Coast and Geodetic Survey. (ANUARIO IGM et al, 1971)

Desde o ano 1929 foram feitas varias linhas de nivelamento geométrico no Chile, com 92 linhas de primeiro ordem de Arica a Puerto Montt, e com uma definição do nível médio do mar independente para a região de Punta Arenas (MATURANA et al., 2002).

Para estabelecer as possíveis variações causadas pelos sismos de 1960 e 1965, foram re nivelaram as seguintes Linhas:

- Valparaíso-La Calera-Santiago (Desde el pilar 1 al 65).
- Sacos-La Calera (Desde el pilar 169 al 202).
- La Ligua - Alicahue - Putaendo- San Felipe- Llay-Llay.
- Parral-Talcahuano. Bulnes-Los Angeles.
- Púa-Los Angeles. Temuco-Púa.
- Valdivia-Temuco. Osorno- Valdivia.

Os trabalhos feitos nos anos posteriores são para manter as redes verticais das deformações produzidas pelos sismos, que, segundo o registro histórico, tem acontecido nos anos 39, 60, 71, 85, 92.

3.2. REDES VERTICAIS

As redes de nivelamento no Chile foram feitas com apoio do DMA dos Estados Unidos, os quais trabalharam com os militares do IGM na execução dos nivelamentos geométricos. O ajustamento do datum vertical foi feito pelo próprio DMA usando os registros marefraficos das estações da zona central do país.

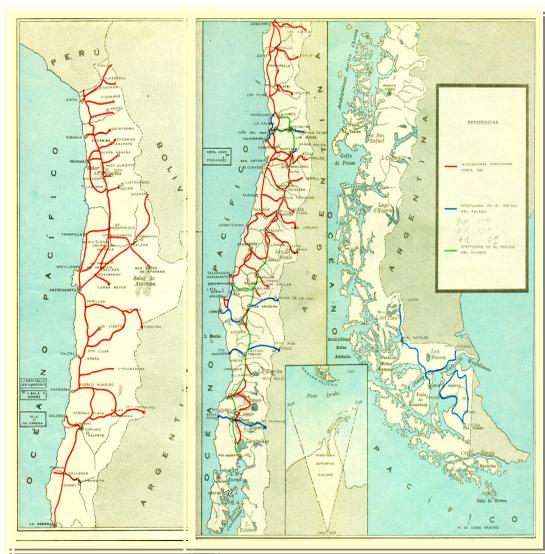
A definição do datum foi feita em duas determinações para o Chile continental, devido ao fato de que nas áreas sul do território há presença de grandes canais que não permitem o nivelamento geométrico, usando o transporte da altura com nivelamento trigonométrico. Por isso, foi feita uma nova determinação do NMM na região de Punta Arenas. Na figura 13 mostra-se a distribuição da rede vertical.

A precisão das redes foi determinada pelo índice:

$$= \pm 4mm\sqrt{k} \rightarrow k = km$$

Que foi fornecido pelo I.P.G.H. para a primeira ordem.

FIGURA 13 – REDE VERTICAL DO CHILE



FONTE: IGM

A rede vertical tem um total de 20.000 km de linhas de nivelamento, nos sentidos longitudinal e transversal ao Chile. Foram aproveitadas as principais

estradas do país para o desenvolvimento dos trabalhos, isso ajudou muito nas obras de engenharia assim como apoio para os trabalhos cartográficos.

Uma observação importante e a seguinte:

“a rede foi feita para o desenvolvimento da cartografia e das obras de engenharia, com uma duração máxima de 5 anos da data de origem”

a manutenção da rede precisa de muito trabalho, porque ao fato de as redes possuem uma vida curta, se soma a grande atividade sísmica do país assim como a perda dos marcos pela ação do homem.

3.3 REDE DE MARÉGRAFOS

A Rede marégrafica do Chile é mantida pelo Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile (SHOA). Eles tem a tarefa de fornecer os dados de maré, registros históricos e, definição do nível médio do mar, para uso geodésico e para navegação. Na figura 14 mostra-se a distribuição das estações marégraficas do Chile. (S.H.O.A., 2001)

FIGURA 14 – REDE MARÉGRAFICO DO CHILE

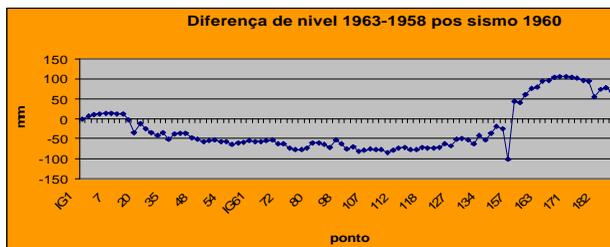


FONTE: S.H.O.A.

3.4. EFEITO DOS SISMOS NAS REDES VERTICAIS

A história do Chile vem acompanhada de grandes sismos, o que quase periodicamente tem acontecido. Assim temos na memória os acontecidos nos anos 1930, 1960, 1970, 1985, 1995. O continuo movimento é produzido pela interação das placas Nazca e Continental. Os efeitos nas redes verticais é permanente, o que é apresentado na figura 15, onde apresenta-se um gráfico comparando as cotas dos marcos nivelados antes e depois do sismo de 1960. Area localizada 700 km ao norte do epicentro do sismo.

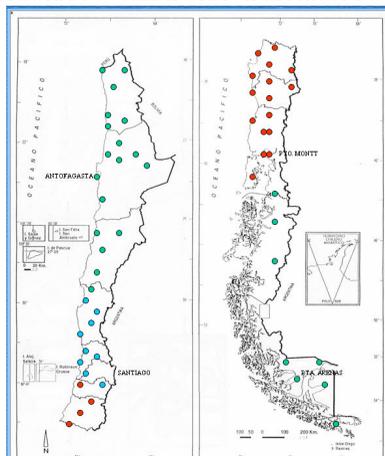
FIGURA 15 – EFEITO DOS SISMOS NOS MARCOS DA REDE VERTICAL



3.5. REDE GRAVIMÉTRICA DO CHILE

Hoje, em conjunto com os nivelamentos geométricos das redes verticais, são feitas observações de gravidade. Por isso foi criada uma Rede Gravimétrica, com 4 estações absolutas. A partir das estações absolutas foram observados pontos de gravidade pelo país. Os pontos são apresentados na figura 16.

FIGURA 16 – REDE GRAVIMETRICA DO CHILE



FONTE: IGM

A rede gravimétrica do Chile permite observar em conjunto com as operações de nivelamento o valor da gravidade, para permitir o cálculo das anomalias da gravidade e das alturas Normais, requeridas para a definição do datum vertical do SIRGAS.

3.6. TRABALHOS PARA O SIRGAS

Para a definição do datum vertical do SIRGAS foi pedido aos países a conexão das redes com os países vizinhos e o nivelamento dos marégrafos. Nesse sentido o Chile tem feito os requerimentos com linhas unindo as redes com Argentina, Bolívia e Peru.

Nesse sentido poderia dizer que só falta o ordenamento dos dados para serem entregues aos assessores científicos do grupo GTIII, tarefa na qual o IGM trabalha na atualidade.

4. CONCLUSÕES

Em geral é possível dizer que a rede horizontal e vertical do Chile tem uma alta degradação pelos contínuos sismos, os quais deslocam os marcos dos pontos e incidem nas coordenadas e altura dos pontos.

Na mudança de referencial horizontal para o SIRGAS, as soluções apresentadas com os modelos usuais, oferecem só uma boa precisão para aquelas aplicações cartográficas, não são suficientes para aplicações que requerem precisão melhor que 3 metros. Um modelo de ajuste por blocos pode apresentar um melhor resultado na mudança.

As aplicações geodésicas das coordenadas SIRGAS, podem precisar de cálculo das coordenada numa época definida, para isso seria necessário o uso das velocidades dos pontos o que pode ser feito com observação continua dos marcos da rede. Na atualidade tem projetos no Chile que permitem a determinação das velocidades.

Os trabalhos feitos pelo IGM do Chile satisfazem os objetivos fixados pelo projeto SIRGAS, já que as tarefas propostas tem sido completadas com sucesso.

Os trabalhos hoje, são permitir que os usuários dos Sistemas de referência, horizontais e verticais, possam acessar a nova rede do Chile, e as mudanças que ela implica na cartografia do país, e nas implicações jurídicas da aplicação do SIRGAS.

5. REFERÊNCIAS

A.I.G.M. - ANUARIO INSTITUTO GEOGRAFICO MILITAR 1960-1965, N° 9, Santiago: IGM, 1966.

A.I.G.M. - ANUARIO INSTITUTO GEOGRAFICO MILITAR 1965-1970, N° 10, Santiago: IGM, 1971.

A.I.G.M. - ANUARIO INSTITUTO GEOGRAFICO MILITAR 1970-1975, N° 11, Santiago: IGM, 1976.

CIFUENTES, O.; BARRIGA, R.; MATURANA, R. Modernización del Marco de Referencia Geodésico y Cartográfico de Chile, 2000.

FISCHER, I. **The Basic Framework of the South American Datum of 1969.** XII Pan American Consultation on Cartography. Panamá, 1973. 18 p.

MATURANA, R.; BARRIGA, R. The Vertical geodetic Network in Chile. In: Symposium on Vertical Reference Systems. Cartagena, 2001. **Anais.** IAG Series, vol. 124, p 23. New York: Springer Verlag, 2002.

NIMA - National Imagery and Mapping Agency. **Department of Defense World Geodetic System 1984.** NIMA TR 8350.2, Third Edition, 1997. 171f.

S.H.O.A. **Instrucciones de Operación de la Red Mareográfica Chilena.** Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile, 2001.

SIRGAS, Boletines Informativos, N° 1 a 7.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores desejam agradecer ao Instituto Geográfico Militar do Chile pela colaboração prestada neste trabalho e pela informação e dados emprestados durante a pratica feita nessas dependências. Agradecemos também ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo fornecimento da bolsa para o programa de doutorado.

CARACTERIZAÇÃO VOLUMÉTRICA DA BAÍA DOS CATETOS NO PANTANAL SUL-MATO-GROSSENSE

Silvio Jacks dos Anjos Garnés¹

Claudia Pereira Krueger²

Mercedes Abid Mercante¹

Vânia Abreu de Mello¹

1 Universidade para o Desenvolvimento do Estado e da Região do Pantanal e
Fundação Manoel de Barros

silviojacks@mail.uniderp.br ; mercante@terra.com.br ; vaniamello@mailbr.com.br

2 Universidade Federal do Paraná – ckrueger@cce.ufpr.br

RESUMO

Este trabalho visa a caracterização de um dos biomas mais belos e complexos do Planeta, o Pantanal Brasileiro, sub-região do Negro Taboco, abordando o emprego de métodos geodésicos na determinação de topologias e volumes de lagoas em pulsos de cheias. Foram implantados na região, marcos geodésicos de referência e, realizados levantamentos batimétricos com o emprego do ecobatímetro modelo SDH-13A, estádia e GPS. Após o processamentos dos dados pode-se comparar os resultados em termos de volume entre as técnicas utilizadas, e também, obter parâmetros de calibração para uso de ecobatímetros em lagoas pantaneiras.

Palavras-chave: Batimetria, Caracterização Ambiental, Lagoas

ABSTRACT

This work aims up the characterization of one of the most beautiful and complex ecosystems of this Planet, the Brazilian Pantanal, sub-region of the Black river, approaching the employment of geodetic methods in the determination of topologies and volumes of lagoons in pulses of full waters. There had been implanted geodetic reference landmarks in the region and there had been bathymetry surveys with the ecobathymetre SDH-13A and staff to the determination of the dephts, and the GPS to position the boat. After the data processing the results can be compared in terms of volume among the used techniques and also to obtain calibration's parameters of the ecobathymetre in the lagoons of the Pantanal.

Keywords: Bathymetry surveys; Environmental Caraterization ; Lagoons of the Pantanal

1. INTRODUÇÃO

1.1. CONSIDERAÇÕES GERAIS

O Pantanal Brasileiro, localizado no extremo oeste do país é formado por uma extensa planície com altitude desde 80 m a 200 m (DIAS, 2000), se estendendo pelos estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, cuja temperatura no verão, freqüentemente ultrapassa aos 40 °C, contrastando com a mínima, que no inverno, em algumas localidades atinge 0 °C. A pluviosidade anual oscila entre 1.000 e 1.200 mm.

A dinâmica do Pantanal é regida basicamente pelo volume de água dos afluentes do rio Paraguai, que aliada a baixa declividade do terreno, ao tipo de solo e a precipitação anual, em épocas de cheias inundam proporções consideráveis de terra, chegando em torno de 80.000 km², transformando-se num complexo sistema de passagens intermitente de águas e sedimentos. O pulso de inundação constitui-se no fator primário dessa planície, provocando alterações físicas e químicas substancias de todo o sistema. Este ritmo peculiar determinado pelo regime das chuvas anuais que caem na região, caracteriza para o homem pantaneiro, para a flora e para a fauna, as quatro fases: a de enchentes (outubro a dezembro), a de cheias (janeiro a março), a de vazante (abril a junho) e a de estiagem (julho a setembro). Os solos são alcalinos e normalmente formados de areias aluviais recentes, sobrepostas a margas e argilas, com uma cobertura vegetal particularmente diversificada (AGENDA, 2003).

O Pantanal brasileiro tem uma área estimada em 138.183 km² sendo sua maior extensão no Estado de Mato Grosso do Sul, em torno de 64,64%, totalizando uma área de 89.318 km² (SILVA e ABDON, 1998, p. 1707). Esta  rea foi classificada segundo suas características (inundação, solo, vegeta o, relevo) em sub-regiões chamadas de pantanais.

Muitos esforços foram realizados no sentido de classificar adequadamente os pantanais, por exemplo, SILVA (1995) apud SILVA e ABDON (1998, p. 1705) apresenta uma tabela (tab. 1) com estudos desde 1964.

TABELA 01 – ESTUDOS RELACIONADOS COM A CLASSIFICA O DOS PANTANAIS

continua

AUTOR	CRITÉRIOS ADOTADOS	MATERIAL UTILIZADO	N.� DE SUB-REGIÕES	ÁREA (km ²)
Stefan (1964)	Não especificado	Não especificado	Não analisado	156.298
Brasil (1974)	Curvas de nível (200 m) e Aspectos geomorfológicos	Cartas topográficas na escala de 1:250.000 e fotografias áreas	Não analisado	168.000
Sanchez (1977)	Geomorfológico, hidrológico e fluviomorfol�gico	Imagens de Radar na escala de 1:250.000 e cartas topográficas na escala 1:100.000	17	Não quantificada

				Continuação
Brasil (1979)	Geomorfológico, hidrológico e fluviomorfológico	e	Imagens de Radar na escala de 1:250.000 e cartas topográficas na escala de 1:100.000	15 139.111
Franco & Pinheiro (1982), Alvarenga et al. (1982)	Geomorfológico, fatores morfogênicos e cartas topográficas (altimetria relativa, litologia e pedologia)		Imagens de Radar na escala de 1:250.000	13 136.738
Adámoli (1982)	Fitogeográfico e hidrológico	e	Estudos anteriores EDIBAP, imagens do LANDSAT-MSS nas escalas de 1:250.000 e 1:1000.000	10 139.111
Alvarenga et al. (1984)	Geomorfológico e aspectos estruturais topográficos, hidrológicos, morfológicos, pedológicos e de estrutura vegetal	e	Imagens de Radar na escala de 1:250.000. Imagens de LANDSAT-MS nas escalas de 1:500.000 e 1:1.000.000	12 133.465
Amaral Filho (1986)	Pedológico e hidrológico	e	Estudos anteriores (RADAMBRASIL) e imagens de Radar na escala de 1:250.000	6 (regime de inundações) 153.000

FONTE: SILVA e ABDON (1998, p. 1705)

DIAS (2000), apresenta no atlas digital de Mato Grosso do Sul as classificações segundo o IBGE (Alvarenga et al. 1984), segundo ADÁMOLI (1982), e segundo o Macrozoneamento Geoambiental de Mato Grosso do Sul (ATLAS MULTIRREFERENCIAL DE MATO GROSSO DO SUL, 1990).

Os estudos realizados neste trabalho se deram nas fazendas Santa Emília e Santa Maria, que de acordo com MELLO (2003, p. 37) pertencem a sub-região (pantanal) do Negro Taboco conforme a classificação de ALVARENGA et al. (1984, p. 141) e ALVARENGA et al. (1989, p. 67).

Na área predomina o solo Podzol Hidromórfico com textura arenosa em relevo plano, areias quartzosas hidromórficas distróficas, e areias quartzosas distróficas. O modelado é de acumulação fluviolacustre, com propensão de permanecer inundado por um período de até três meses. Geologicamente os terrenos são fanerozóicos de formação pantanal e, a vegetação encontra-se em uma região fitoecológica de savana (cerrado) com formações de gramíneo lenhosa (campo), arbórea densa (cerradão) e parque (parque de cerrado) (MELLO, 2003, p. 100).

A fazenda Santa Emília possui uma área de 2.618,8824 ha, onde funciona o Instituto de Pesquisa do Pantanal – IPPAN e também a pousada Araraúna. Situam-se

no município de Aquidauana, distante 150 km da cidade de Aquidauana, percorrendo-se por vias terrestres 114 km na BR 419 (Transpantaneira) e mais 36 km por estradas secundárias. Foi do IPPAN toda a infra-estrutura logística para a realização do trabalho.

Os estudos de caracter geodésicos no IPPAN surgiram com a realização do projeto “caracterização volumétrica e topológica das lagoas do Pantanal Sul-mato-grossense” patrocinado pela Fundação Manoel de Barros. Lá foram implantados sete marcos de concreto com forma tronco piramidal, tendo 50 cm de altura por 25 cm de base inferior e 12 cm de base superior. No topo chumbou-se chapas de alumínio com marca indicativa das coordenadas geodésicas e dizeres sobre características do marco, bem como um alerta de proteção.

Dos sete marcos implantados no IPPAN, o marco denominado M-001 serve como base aos demais e também é o marco de referência à batimetria realizada na baía da Sede, próxima a pista de pouso do IPPAN. O marco M-002 é o marco de referência à batimetria realizada na lagoa Limpa.

Embora os levantamentos batimétricos citados pudessem ser descritos em detalhes, não o serão pelo fato de que o comparativo com o emprego do ecobatímetro só se deu na baía dos Catetos.

A baía dos Catetos ficou assim denominada pela equipe que compôs os trabalhos de campo, devido a grande quantidade de Catetos que se alimentavam nas suas imediações na ocasião da primeira visita ao local.

Um marco de referência aos trabalhos batimétricos na baía dos Catetos foi implantado e denominado M-011 (fig. 1).

A importância de trabalhos geodésicos, tais como o georreferenciamento acurado de marcos e de áreas vêm se tornando indispensáveis aos estudos ambientais, pois complementam em âmbito global informações locais. Aos liminólogos, por exemplo, a batimetria de precisão traz uma enorme contribuição nas definições das variáveis liminológicas.

2. IMPLANTAÇÃO DOS MARCOS GEODÉSICOS E REFERÊNCIA DE NÍVEL PARA A BAÍA

O marco denominado M-001, localizado no final da pista de pouso do IPPAN é o marco inicial (base) dos trabalhos na região. Teve suas coordenadas geodésicas transportadas a partir das coordenadas da Antena do INCRA (Rede INCRA de Base Comunitária GPS - RIBaC) localizada no bloco III da UNIDERP, avenida Ceará, 333, Campo Grande- MS, por rastreamento do receptor da estação INCRA (Pro XR) e de um receptor Trimble 4600 LS. A duração do rastreamento foi de 4:34:30 horas. A linha de base é de aproximadamente 150 km. O processamento foi realizado pelos programas GPPS da Ashtech, Trimble Geomatics Office (TGO) e GPSurvey da Trimble e coordenadas médias foram adotadas como definidoras da posição do marco.

Após análise e composição das matrizes de covariâncias entre os processamentos pode-se garantir que a posição do marco ficou com precisão relativa de 1,26 m.

FIGURA 1 – RASTREIO GPS NO MARCO M-011 NA BAÍA DOS CATETOS



FONTE: MELLO, V. A. 2002. 1. fot., color. 15 cm x 10 cm.

Para o transporte de coordenadas geodésicas do marco M-001 para o marco M-011 nas imediações da baía dos Catetos empregou-se um receptor Trimble 4600 LS na base (M-001) e um receptor Ashtect Reliance no marco M-011. O tempo de rastreamento foi de 40 min, a linha de base de aproximadamente 1.616 m. O processamento realizado com o programa TGO. Todas as ambiguidades foram resolvidas segundo o critério da razão estatística entre a menor forma quadrática e a segunda menor (ver GARNÉS, 2001, p. 152) e, os desvios padrão indicam que a precisão da linha de base ficou em torno de 2 cm. Na tabela 2 a seguir são

apresentadas as coordenadas geodésicas pós-processadas dos marcos M-001 e M-011.

TABELA 2 - COORDENADAS GEODÉSICAS DOS MARCOS NO SAD-69

ESTAÇÃO	LATITUDE	LONGITUDE	ALT. GEOMÉTRICA
M – 001	19°30'18,83604" S	55°36'44,71882" W	129,208 m
M – 011	19°31'11,26576" S	55°36'40,86795" W	128,308 m

NOTA: Estas coordenadas deverão sofrer pequenas alteração quando forem ajustadas a rede Estadual GPS

A altitude geométrica da chapa de referência do marco M-011 foi transformada em altitude ortométrica por meio do cálculo da ondulação geoidal obtida com o programa MapGeo V 2.0. O resultado foi $N = +8,82$ e $H = 119,488$ m. Depois disso realizou-se um nivelamento geométrico com um nível óptico da marca Pentax – precisão de 2,5 mm/km, e estadia de alumínio graduada, até uma estaca cravada dentro da lagoa, visando a determinação da altitude da lamina d'água, resultando em 118,834 m, pois o nível d' água encontrava-se 0,654 m abaixo da chapa de referência do marco.

3. BATIMETRIA

3.1 LEVANTAMENTO DA PROFUNDIDADE

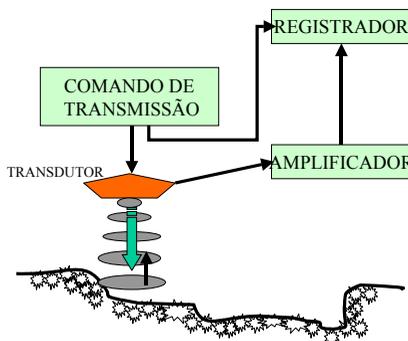
Um levantamento batimétrico tem por objetivo realizar as medições de profundidades associadas a uma posição na superfície d'água, necessárias em áreas marítimas, fluviais, em lagoas, e em canais naturais ou artificiais, navegáveis ou não, visando a representação destas áreas em uma carta. As profundidades são de extrema importância para que se possa representar as linhas isobáticas, as quais permitirão a visualização da topografia submersa. Diversos instrumentos podem ser empregados na medição de profundidades, cita-se: o prumo de mão, a máquina de sondar, a estadia e o ecobatímetro.

Neste trabalho as profundidades foram determinadas por uma estadia de alumínio com 4 m de comprimento, possuindo o recurso de recolher duas de suas partes e, também por um ecobatímetro do modelo SDH-13A.

O princípio fundamental de um ecobatímetro consiste em que um feixe de ondas sonoras (frequência menor que 18 KHz) ou ultra sonoras (frequência maior que 18 KHz) seja transmitida verticalmente por um emissor instalado na embarcação, atravessando o meio líquido até atingir o fundo submerso e aí se reflete, retornando à superfície, onde é detectado por um receptor. O tempo decorrido entre a emissão do sinal e a recepção do eco refletido do fundo submerso é convertido em profundidade, visto que a velocidade do som na água é conhecida ($\cong 1500$ m/s). Basicamente, os ecobatímetros compõem-se dos seguintes componentes: transmissor, receptor, amplificador, registrador, transdutor e comando de

transmissão (fig. 2). A intervalos de tempos constantes, o comando de transmissão envia um pulso ao transmissor, que recebendo este sinal, envia um pulso de energia elétrica de potência muito maior que a recebida, ao transdutor. O transdutor de recepção transforma energia elétrica em sonora (pelo princípio da magnetostricção ou da piezo-eletricidade). O eco refletido pelo fundo submerso impressiona o transdutor de recepção, que transforma energia sonora em elétrica, que é, por sua vez, enviada ao medidor de intervalo de tempo. Nele, é medido o intervalo entre a emissão do pulso e a recepção do eco, que é transformado diretamente em profundidade e é apresentado, visualmente ou graficamente, no registrador (MIGUENS, 1996).

FIGURA 2 – PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DO ECOBATÍMETRO



FONTE: Adaptado de MIGUENS (1996)

O ecobatímetro utilizado do modelo SDH-13A, é portátil, preciso e permite tanto leituras gráficas das profundidades (ecogramas), quanto leituras digitais no visor. Opera numa frequência de 208 KHz realizando medidas de profundidades a partir 0,35 m até 123 m. Seguindo as orientações estabelecidas em KRUGER (1996), empregou-se um transdutor de borda de feixe único e com uma ângulo de abertura de 8° (+/- 1°), o qual foi instalado de forma centrada em relação a antena cinemática GPS, visando a simplificação do modelo matemático de correção dos erros no posicionamento da antena GPS em relação ao ecobatímetro.

Para obtenção das profundidades locais no instante da sondagem faz-se necessário somar às leituras do ecobatímetro, o valor do calado da embarcação. O DIGITRACE permite a introdução deste valor, de modo que as suas indicações tem como referência a lâmina d' água. O valor do calado estático está associado a montagem do conjunto transdutor, sargento, tipo de embarcação e quantidade de peso no interior da embarcação (ver fig. 3). No levantamento realizado, o calado foi medido após todos os componentes da equipe estarem em seus lugares e todos os equipamentos devidamente instalados, resultando em 20 cm.

Para a correta medição da profundidade, os ecobatímetros devem ser calibrados. Esta calibração é realizada girando-se o dial do instrumento até que este fique sintonizado em relação à resposta do sinal emitido e obtenha a adequada velocidade do som na água de acordo com uma profundidade conhecida. A comparação neste caso foi feita com a profundidade determinada pela estádia até a lâmina d'água. A velocidade do som na água foi determinada e encontraram-se valores entre 1330 e 1340 m/s.

Em algumas áreas da lagoa constatou-se que o fundo submerso constituía-se de camadas de até 15 cm de lama. Nessas partes, ocorria pouca intensidade do eco, e foi necessário realizar regulagens periódicas da sensibilidade do ecobatímetro.

No instante de determinação da posição da embarcação com o GPS, era registrado um top no ecobatímetro, o que permitiu a posteriori, a ordenação temporal dos dados de posicionamento com os da profundidade, sendo então, gerado um novo arquivo com as informações devidamente ordenadas.

FIGURA 3 – EMBARCAÇÃO ADAPTADA PARA O LEVANTAMENTO BATIMÉTRICO



FONTE: SILOÉ, J. 2002. 1. fot., color. 10 cm x 15 cm.

3.2 LEVANTAMENTO POSICIONAL NA SUPERFÍCIE D'ÁGUA

Existem vários métodos topográficos para a determinação da posição bi-dimensional de uma embarcação no instante de uma sondagem de profundidade, entre eles pode-se citar: método da interseção a vante, método da irradiação com distâncias eletrônicas ou taqueométricas, método trigonométrico por diferença de nível, entre outros. No entanto, neste trabalho, optou-se em empregar o GPS aplicando-se o método de posicionamento relativo com a técnica *stop and go*.

A inicialização para a técnica *stop and go* foi o da linha de base conhecida, porém após a determinação das coordenadas de um ponto inicial pela técnica estático rápido.

Por experiências anteriores e também pelas vegetações flutuantes na lagoa (gramíneas e macrófitas), optou-se por não trabalhar em seções retas e sim, posicionar pontos em espiral, iniciando-se no percurso da borda para o centro e mantendo-se um espaçamento visual entre pontos de aproximadamente 15 a 20 m.

Pela hipótese da não linearidade das profundidades próximas a margem, e com o intuito de aumentar a confiabilidade do trabalho, levantou-se também o perímetro da lagoa (fig. 4a), o qual foi utilizado na geração das isobáticas (curvas de nível).

4. PROCESSAMENTO E ANÁLISE DOS DADOS

Conforme mencionado na seção 2, o marco M-011 (fig. 1) serviu como base aos levantamentos locais da baía dos Catetos. No marco M-011 instalou-se o receptor Reliance e no barco foi adaptada a antena/receptor trimble 4600 LS.

A aplicação da técnica *stop and go* permite que a cada parada seja feito o registro no coletor de dados ligado ao receptor, no caso, o coletor TSC1. Assim, os pontos da lagoa foram enumerados com os códigos BC01, BC02, . . . , BC49. Depois o perímetro foi levantado e os pontos enumerados com os códigos PE01, . . . , PE50. O processamento foi realizado com o software TGO e as ambigüidades foram resolvidas, embora surgiram algumas dúvidas por causa do alto valor da variância de referência. Então pode-se checar a confiabilidade da solução com base nos valores das altitudes, uma vez que esses pontos estavam aproximadamente em nível, tanto na água (antena no barco) quanto no perímetro. Vale destacar que a maior linha de base foi de 506,621 m.

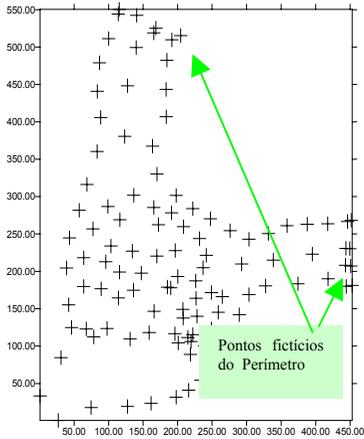
As coordenadas UTM em SAD-69 foram exportadas do TGO para um arquivo no formato .CSV, e esse arquivo lido no programa Excel, onde as altitudes ortométricas foram calculadas com base na ondulação geoidal do M-011. Também foram calculadas as altitudes dos pontos coletados para o fundo da Baía. Depois disso, verificou-se a menor das coordenadas E e N e com subtração a estas, fez-se uma translação do sistema UTM para que o programa *surfer* 6.0 pudesse suportar o número de dígitos significativos (ele não comporta os números das coordenadas UTM).

No programa *surfer* fez-se várias simulações de modelos de interpolação e pôde-se concluir que os interpoladores: a) regressão polinomial; b) vizinho próximo; c) triangulação w/interpolação linear; d) método shepard's; e, e) potência do inverso da distância, não são adequados a esse tipo de problema. Já, os interpoladores: f) funções básicas radiais; g) *Kriging*; e h) curvatura mínima (função base multiquadrática) têm performances semelhantes e são adequados ao problema.

Por se tratar de uma baía, a lagoa tem entrada e saída de água e, por esse motivo, foi necessário estabelecer um limite para se proceder o cálculo do volume. Este limite foi criado por pontos fictícios com mesma altitude do ponto do perímetro por onde foram cruzados os braços do Corixo (fig. 4a).

FIGURA 4 – PONTOS LEVANTADOS E *GRID* GERADO

4a. - Pontos levantados



4b. – Pontos gerados por interpolação

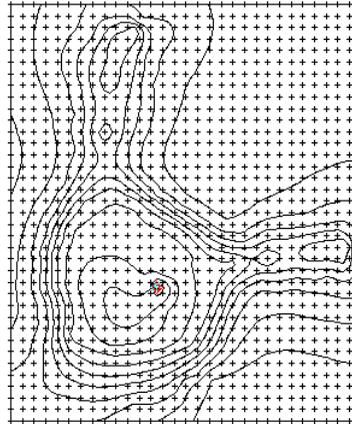
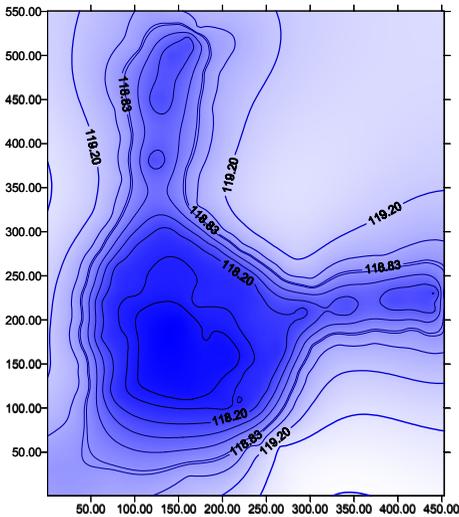
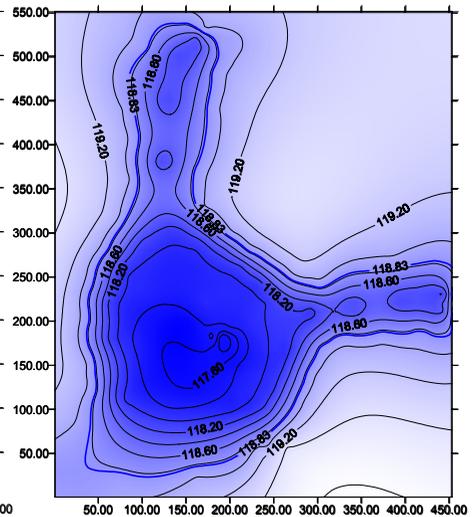


FIGURA 5 – CURVAS DE NÍVEL DA BAÍA – ISOBÁTICAS

5a – Profundidade com estadia



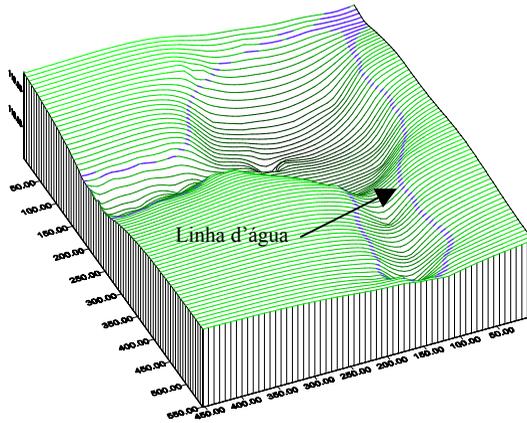
5b – Profundidade com ecobatímetro



As curvas de nível (isobáticas) que permitem conhecer sobre a topologia da Baía para as profundidades medidas com a estadia e com o ecobatímetro são ilustradas nas figuras 5a e 5b, respectivamente.

Na fig. 6 é mostrada um visão tri-dimensional da Baía, onde a linha indicada pela seta (em azul) marca o nível d'água na época do levantamento.

FIGURA 6 – MODELO TRI-DIMENSIONAL DA BAÍA



Para comparação dos volumes entre as profundidades com a estadia e ecobatímetro, usou-se o interpolador *kriging* com espaçamento de 11 m, gerando um *grid* de 41 x 50 pontos (fig. 4b).

Os volumes obtidos foram:

volume = 50.023,7 m³ (profundidade com a estadia);

volume = 45.126,6 m³ (profundidades com o ecobatímetro).

Portanto, uma diferença de 10,8 %, correspondendo a 4.897.100 litros de água. Esta diferença está no fato do ecobatímetro não ler intervalos menores do que 10 cm e, também, por causa do lodo do fundo da Baía.

A figura (fig. 7) ilustra a fazenda Santa Emília sobreposta a uma imagem georreferenciada do satélite LANDSAT TM 7. Nela podem ser identificados fragmentos de paisagens diferenciados, tais como cordilheira, baías, lagoas, corixos, pastagens, bem como os rios Negro e Correntoso.

A fig. 8 ilustra detalhes da distribuição espacial das baías e lagoa levantadas e da posição dos marcos geodésicos na área.

FIGURA 7 – IMAGEM GEORREFERENCIADA DO IPPAN

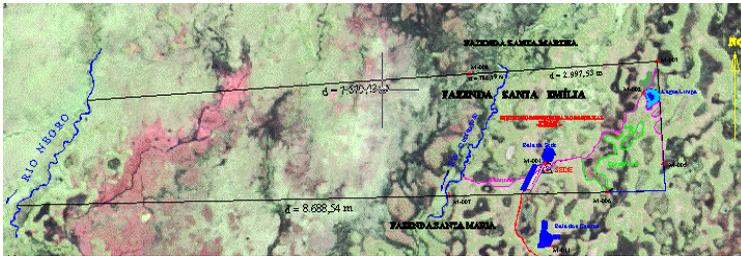


FIGURA 8 – DETALHE DA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DAS BAÍAS E LAGOA LEVANTADAS



Por fim na tab.3 são apresentadas as coordenadas do marco M-002 e as diferenças de altitudes existentes entre a baía da Sede, baía dos Catetos e lagoa Limpa, tomando o nível da água da última como referência.

TABELA 3 - COORD. GEODÉSICAS DOS MARCO M-002 E DIFERENÇAS DE ALTITUDES

ESTAÇÃO	LATITUDE	LONGITUDE	ALT. GEOMÉTRICA
M – 002 (SAD-69)	19°29'32,37785" S	55°35'37,72569" W	129,142 m
		Diferença de altitude no NA em 23/06/02	Declividade entre elas
Lag. Limpa	→ Baía da Sede	0,696 m	0,028 %
Lag. Limpa	→ Baía dos Catetos	1,192 m	0,034%

5. CONCLUSÃO

O trabalho permitiu identificar a topologia submersa da baía dos Catetos e quantificar o volume d'água para a época do levantamento. Comparou-se dois métodos de medição de profundidade e verificou-se uma diferença de 10% entre os volumes encontrados, indicando com isso, que se deve ter cuidado no uso tanto do ecobatímetro quanto da estádia em levantamentos batimétricos no Pantanal. O ecobatímetro por sua sensibilidade prejudicada devido ao fundo e a estádia por afundar no lodo. Também ficou determinada a diferença de nível com precisão centimétrica entre a lagoa Limpa, baía da Sede e baía dos Catetos, estabelecendo desta forma, a relação entre elas para controle de pulsos de enchentes no Pantanal do Negro Taboco. Outro resultado encontrado foi a declividade da topografia do local que é menor do que 0,04%. E, ainda, foi determinada a velocidade do som na água para as lagoas pantaneiras, cujo valor está em torno de 1330 a 1340 m/s.

Com a amarração do levantamento batimétrico ao marco M-011, novos volumes d'água da baía dos Catetos poderão ser determinados a qualquer tempo, bastando para isso medir a diferença de nível entre a chapa de referência do marco geodésico e o nível d'água.

Este trabalho é o resultado de uma pequena parte das pesquisas que vêm sendo desenvolvidas no Instituto de Pesquisa do Pantanal da UNIDERP, e muito nos estimulou a sua execução, pela beleza do local e pela oportunidade de conhecer e estar em contato com a fauna e flora de tão rico patrimônio da humanidade, o Pantanal Brasileiro.

6. REFERÊNCIAS

ADÂMOLI, J.A. O Pantanal e suas relações fitogeográficas com os Cerrados. Discussão sobre o conceito 'Complexo do Pantanal'. In: Congresso Nacional de Botânica, 32., 1981, Teresina. **Anais...** Teresina: Sociedade Botânica do Brasil, 1982. P.109-119.

ALVARENGA, S. M.; BRASIL, A. E.; DEL'ARCO, D. M. Geomorfologia. In: BRASIL, Ministério das Minas e Energia. Projeto RADAMBRASIL. **Folha SE**. Campo Grande, 1982. p.125-184.

ALVARENGA, S. M.; BRASIL, A. E.; PINHEIRO, R.; KUX. H.J.H. Estudo geomorfológico aplicado à bacia do Alto Rio Paraguai e Pantanaís Mato-grossenses. In: **Boletim Técnico**. Projeto RADAMBRASIL. Salvador, out-1984. Pp. 89-183.

DIAS, J. **Atlas geográfico digital de Mato Grosso do Sul**. Disponível em <<http://www.uniderp.br/atlas/pantanal.htm>> Acesso em: 14 abr. 2003.

GARNÉS, S. J. dos A. **Resolução das ambigüidades GPS: análise dos algoritmos de otimização**. Curitiba, 2001. 204 f. Tese (Doutorado em Geodésia). Departamento de Geomática. Setor de Ciências da Terra. Universidade Federal do Paraná.

KRUEGER, C. P. **Investigações sobre aplicações de alta precisão do GPS no Âmbito Marinho**. Curitiba, 1996. 267 f. Tese (Doutorado em Geodésia). Setor de Tecnologia. Universidade Federal do Paraná.

MATO GROSSO DO SUL, Secretaria de Estado de Planejamento e de Ciência e Tecnologia. **Atlas Multirreferencial do Estado de Mato Grosso do Sul**. Campo Grande, 1990.

MELLO, V. A. **Variação da paisagem de um trecho do pantanal sul-mato-grossense**. Campo Grande, 2003. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente e Desenvolvimento Regional). Pró-Reitoria de pesquisa e Pós-Graduação. Universidade para o Desenvolvimento do Estado e da Região do Pantanal.

MIGUENS, A. P. **Navegação: a ciência e a arte**. v. 1 - Navegação Costeira, estimada e em Águas Restritas. Rio de Janeiro: DHN, Brasil, 1996. 538 p.

SILVA, J. dos. S. V. da; ABDON, M. de M. Delimitação do pantanal brasileiro e suas sub-regiões. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, número especial, p. 1703 – 1711, out. 1998.

UNIVERSIDADE PARA O DESENVOLVIMENTO DO ESTADO E DA REGIÃO DO PANTANAL. **AGENDA 2003**. Campo Grande, 2003.

7. AGRADECIMENTOS

Os autores desejam externar seus agradecimentos ao Instituto de Desenvolvimento Agrário, Assistência Técnica e Extensão Rural de MS – IDATERRA, pelo apoio em relação aos equipamentos Trimble 4600 LS concedidos à realização dos levantamentos. Ao Departamento de Geomática, CPGCG e LAGE da UFPR pelo apoio em relação aos equipamentos Reliance e Ecobatímetro SDH-13A. À Fundação Manoel de Barros pelo apoio financeiro. Ao IPPAN/UNIDERP pelo apoio logístico. Aos acadêmicos do Curso de Engenharia de Agrimensura João Carlos Martins e do Curso de Biologia João Siloé pela ajuda nos levantamentos realizados.