

RBGEO

REVISTA BRASILEIRA DE GEOMÁTICA

Volume 3, número 1 (2015)

ISSN 2317-4285

Revista Brasileira de Geomática

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

Campus Pato Branco



Volume 3, número 1

ISSN 2317-4285

**Pato Branco
2015**

Revista Brasileira de Geomática

A **Revista Brasileira de Geomática (Rev. Bras. Geom.; RBGeo)** é resultante de um desmembramento da Seção de Geociências, publicada dentro da revista Synergismus scyentifica UTFPR e compreende um volume anual, podendo desdobrar-se em quatro números com periodicidade trimestral.

A revista publica trabalhos em todas as áreas relevantes que envolvam as Geotecnologias, pois trata-se de um periódico de divulgação técnica e científica destinado à publicação de artigos científicos originais, bem como trabalhos que envolvam ensino (inclusive os decorrentes de Trabalhos de Conclusão de Curso - TCC), pesquisa, extensão e os decorrentes de projetos de obras de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura em seus diversos ramos de aplicação.

A submissão dos manuscritos é na forma de fluxo contínuo e pode ser realizada a qualquer época do ano e devem ser elaborados segundo as normas disponíveis no site da revista.

As atividades editoriais são realizadas pelos Editores Associados, membros do Corpo Editorial e um grupo de revisores cujos nomes são periodicamente divulgados.

Os manuscritos submetidos à RBGeo são analisados por pelo menos dois revisores selecionados pelos Editores e mantidos em anonimato. Os editores têm a prerrogativa de aceitar ou não os manuscritos submetidos para publicação no que diz respeito à adequação à linha editorial da Revista e os seus escopos.

Aos autores são reservados todos os direitos autorais, permanecendo aos leitores, entretanto, a permissão para citações de partes do texto e a reprodução não comercial de figuras, mapas e outras ilustrações, quando houver a devida referência ao manuscrito em questão e permanecendo, no entanto, o direito da revista de sua divulgação por meio eletrônico, impresso e demais formas que por ventura venha a adotar, bem como a sua manutenção em bibliotecas de apoio e backup.

Site da revista

“<http://revistas.utfpr.edu.br/pb/index.php/RBGeo/>”

ISSN 2317-4285

Capa da Revista: Claudinei Rodrigues de Aguiar

Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Pato Branco

Revista Brasileira de Geomática
UTFPR

e-book (pdf)

Editor da Revista
Prof. Claudinei Rodrigues de Aguiar

Editor Assistente
Prof^ª. Danielli Batistella

UNIFORMIZAÇÃO DOS TEXTOS, CAPA E DIAGRAMAÇÃO
Claudinei Rodrigues de Aguiar

Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Pato Branco
Via do Conhecimento, Km 1
Cx.P. 571
85.503-390, Pato Branco – PR
Tel.: +55 46 3220 2511 Fax: +55 46 3220 2500

ISSN 2317-4285

MEC
UTFPR

Presidente da República: **Dilma Vana Roussef**

Reitor: **Carlos Eduardo Cantarelli**

Diretora do Campus Pato Branco: **Prof. Idemir Citadin**

Diretoria de Graduação e Educação Profissional – DIRGRAD: **Prof. Henrique Emilio Zorel Junior**

Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação – DIPPG: **Prof. Ivo de Lourenço Júnior**

Diretoria de Planejamento e Administração – DIPLAD: **Renato Luis Carpenedo**

Diretoria de Relações Empresariais e Comunitárias – DIREC: **Prof. Neri Santos de Vargas**

Responsabilidade da Autoria

As informações contidas nos trabalhos são de inteira responsabilidade de seu(s) autor(es). As opiniões nele emitidas não representam, necessariamente, pontos de vista da Instituição e/ou dos Editores e seus colaboradores.

Volume 3, número 1 (2015)

Sumário

Análise exploratória espacial dos preços das terras agrícolas no estado de São Paulo	7
<i>Hélder Gramacho dos Santos, Lucilene Antunes Correia Marques de Sá, Marcelo Antônio Nero, José Luiz Portugal,</i>	
Utilização de espelho de reflexão frontal aliado ao nivelamento geométrico para determinação de desnível de pontos em ambientes confinados	17
<i>Wander da Cruz, Niarkios Luiz Santos de Salles Graça, Pedro Luis Faggion</i>	
Aplicação de GEOBIA para classificação da cobertura da terra no Parque Nacional do Itatiaia	24
<i>Igor Vieira Vargas Colares, Marlon Thiago de Oliveira Nunes, Gustavo Mota de Sousa, Manoel do Couto Fernandes</i>	
Análise do efeito corona gerado por redes elétricas de alta tensão sobre o posicionamento relativo com GNSS	32
<i>Fernando Luis Hillebrand, Gelson Lauro Dal' Forno</i>	
Comparação dos programas TC2DFTPL e TCFOUR no cálculo da correção de terreno para o Estado do Rio Grande do Sul	42
<i>Gabriela Pasetto Falavigna, Sérgio Florêncio de Souza</i>	

Análise exploratória espacial dos preços das terras agrícolas no estado de São Paulo

Exploratory spatial data analysis of the rural land prices in São Paulo state

Hélder Gramacho dos Santos¹
Lucilene Antunes Correia Marques de Sá²
Marcelo Antônio Nero²
José Luiz Portugal²

¹Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação da Universidade Federal de Pernambuco.

²Departamento de Engenharia Cartográfica da UFPE.

Centro de Tecnologia e Geociências, Departamento de Engenharia Cartográfica, Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, Universidade Federal de Pernambuco-UFPE, Rua Acadêmico Hélio Ramos s/nº - Cid. Universitária - Recife-PE CEP 50740-530.

agrohelder@gmail.com, lacms@ufpe.br, marcelo.nero.ufpe@gmail.com, joseluiz.portugal@gmail.com

RESUMO – A análise exploratória de dados espaciais consiste de uma coleção de técnicas para descrever e visualizar distribuições espaciais, descobrir padrões de associação, identificar aglomerados e situações atípicas. Objetivando analisar a influência destas questões sobre preços de terras agrícolas, foi realizada análise exploratória espacial dos valores de terra nua de cinco categorias de terras do estado de São Paulo em 2012. Foi realizada a estatística descritiva, calculados o Índice de Moran Global, o Índice Local de Associação Espacial e produzidos mapas que descrevem os fenômenos espaciais. Todos os procedimentos utilizaram programas livres. A discussão foi baseada na associação da ocorrência dos fenômenos ao valor da produção agropecuária de São Paulo em 2012. Todas as categorias de terras apresentaram autocorrelação espacial global. Os indicadores de autocorrelação local detectaram *clusters* de preços altos e baixos, algumas categorias apresentaram *outliers*. Os padrões de formação de *clusters* foram diferentes para cada categoria. Os maiores valores da produção agropecuária estão localizados em regiões onde ocorreram *clusters* de preços altos. Avaliações de imóveis rurais realizadas no estado de São Paulo devem atentar para a ocorrência da autocorrelação espacial. A disponibilidade destas ferramentas por *softwares* livres deve contribuir para a utilização de tais procedimentos pelos peritos e avaliadores.

Palavras-chave: Autocorrelação espacial, Índice de Moran, Econometria espacial.

ABSTRACT – The Exploratory Spatial Data Analysis consists of a collection of techniques to describe and visualize spatial distributions, discover association patterns, identify clusters and atypical situations. Aiming to analyze the these issues influence on the agricultural lands prices, Exploratory Spatial Analysis of bare land values of five land categories in the State of São Paulo was held in 2012. Data descriptive statistics was performed; we calculated the global Moran index and the Local Index of Spatial Association and produced maps that describe the spatial phenomena. All procedures used open programs. The discussion was based on the association of phenomena occurrence and agricultural production value in São Paulo, in 2012. All land categories had global spatial autocorrelation. The autocorrelation indicators detected high and low prices clusters, some categories showed outliers. The clustering patterns were different for each land category. The highest agricultural production values are located in regions where high prices clusters occurred. Rural real estate appraisals conducted in the state of São Paulo should pay attention to the spatial autocorrelation occurrence. The availability of such tools through free software should contribute to the use of such procedures by experts and evaluators.

Keywords: Spatial autocorrelation, Moran index, Spatial econometrics.

1. INTRODUÇÃO

O estado de São Paulo apresenta uma agricultura dinâmica e situa-se entre os principais estados do Brasil em termos de produtividade. O valor da produção agropecuária e florestal em 2012 foi de R\$ 61,5 bilhões segundo levantamento do Instituto de

Economia Agrícola. Dentre os principais produtos responsáveis por este desempenho estão a cana-de-açúcar, carne bovina, madeira de eucalipto, carne de frango e laranja para indústria, juntos eles representam cerca de 71% do valor da produção (TSUNECHIRO et. al., 2013a). A produtividade dos fatores de produção na exploração agropecuária depende de muitos aspectos

que por sua vez são desigualmente distribuídos entre as regiões, o que implica a heterogeneidade da função de produção agropecuária (MOREIRA; MIGON, 2000).

O valor das terras em uma determinada região está sujeito à influência de diversas variáveis. Lima (2005) aponta que as principais são: capacidade de uso das terras, situação, dimensão, potencial de irrigação, pluviosidade, porcentagem de área com cobertura florística natural, número de açudes, porcentagem de área que já foi aberta, dentre outras, que podem existir em realidades específicas de mercado.

Todas estas características são elencadas como importantes por influenciarem na capacidade de geração de renda de uma determinada propriedade. Além disso, o valor de um imóvel está associado à sua capacidade de produzir renda. Assim, é natural que onde ocorra a concentração das características favoráveis à produção e, conseqüentemente, à geração de renda, aconteça a maior valorização dos imóveis.

Com o objetivo de obter avaliações não tendenciosas, eficientes e consistentes a NBR 14653-3 (ABNT, 2004), propõe que sejam verificados sete pressupostos para análise de modelos de regressão linear. Logo, devem ser verificados: a especificação, normalidade, homoscedasticidade, não-multicolinearidade, independência, inexistência de pontos atípicos, e a não-autocorrelação dos dados. Este último pressuposto garante que os valores de observados numa determinada região são independentes dos valores observados em localidades vizinhas.

Uma definição para autocorrelação espacial dos valores dos imóveis refere-se à dependência espacial de tais valores com as suas localizações. Na presença de autocorrelação espacial é de se esperar que imóveis próximos tenham valores similares, dessa forma, a proximidade entre duas localizações provoca a transmissividade dos valores e se torna o instrumento gerador da autocorrelação espacial dos mesmos (MICHAEL et al., 2006).

Segundo Dantas et al. (2003), uma avaliação com base em dados que apresentam dependência ou autocorrelação espacial, quando é realizada por Modelos de Regressão ajustados pelo Método dos Mínimos Quadrados Ordinários (MMQO), pode apresentar resultados tendenciosos, inconsistentes ou ineficientes, violando assim as principais características dos estimadores.

Diversos trabalhos tem proposto técnicas para realizar o tratamento de dados de imóveis que apresentam comportamentos de preços dependentes espacialmente (DANTAS et al., 2001; DANTAS et al., 2003a; DANTAS et al., 2003b; MICHAEL et al., 2006; RESENER; HOCHHEIM, 2006; DANTAS et al., 2006; HORNBERG; HOCHHEIM, 2009). Realizar estudos que visem identificar a existência da autocorrelação espacial é importante para que uma vez identificada seja possível utilizar metodologias avaliatórias adequadas ao comportamento das variáveis em estudo.

O presente trabalho visa analisar o padrão espacial dos Valores de Terra Nua de cinco categorias de terras agrícolas no Estado de São Paulo. Portanto, foi verificado se a proximidade espacial é um elemento significativo na determinação da variável em estudo e qual o grau de semelhança entre os padrões de distribuição espacial das diferentes categorias de terras. Adicionalmente, foi verificada a existência de aglomerados *clusters* de preços de terras de altos ou baixos valores dentro das categorias, bem como de *outliers*, regiões que possuem comportamento diferentes das suas vizinhas.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Análise exploratória espacial

De acordo com Druck et. al. (2004), as técnicas de análise exploratória aplicadas a dados espaciais são essenciais ao desenvolvimento das etapas da modelagem estatística espacial. Isto se deve ao fato destas serem geralmente sensíveis ao tipo de distribuição, à presença de valores extremos e à ausência de estacionariedade.

A utilização de métodos convencionais segundo Gonçalves (2007), referindo-se às regressões múltiplas e à análise visual de mapas, não são confiáveis para detectar agrupamentos e padrões espaciais significativos, sendo portanto inadequadas para análise de dados georreferenciados.

Ao explicarem a técnica da análise exploratória de dados espaciais Perobelli et al. (2006), informam que o objetivo desta é descrever a distribuição espacial, os padrões de associação espacial (*clusters* espaciais), verificar a existência de diferentes regimes espaciais ou outras formas de instabilidade espacial (não-estacionariedade) e identificar observações atípicas (*outliers*).

Para que a Análise Exploratória de Dados Espaciais (AEDE) seja realizada é necessário a construção da matriz da proximidade espacial (W), do vetor dos desvios (Z) e do vetor de médias ponderadas (W_z).

A matriz de proximidade espacial é uma ferramenta geral e útil para descrever o arranjo espacial dos objetos (BAILEY; GATRELL, 1995). W , é uma matriz quadrada, com n^2 elementos, onde cada elemento, w_{ij} , representa uma medida de proximidade espacial entre o polígono i e o polígono j , sendo n , o número total de objetos. Geralmente utiliza-se como medida de proximidade:

objetos com fronteira comum, $w_{ij} = 1$;

objetos sem fronteira comum, $w_{ij} = 0$.

A construção da matriz de proximidade espacial é a primeira etapa para quem deseja realizar a AEDE. Os programas constroem a matriz de proximidade espacial utilizando informações da topologia, extraída da representação gráfica dos objetos. Sua criação é automática após a definição da estratégia de construção e do peso de cada um dos vizinhos.

O próximo passo é definir o atributo para que seja possível calcular o vetor de desvios Z . Na sequência é calculada a média (μ) dos valores dos atributos, considerando os n objetos. Cada elemento i de Z , z_i , é obtido subtraindo-se o valor da média, do valor do atributo correspondente ($z_i = y_i - \mu$). Para este cálculo são utilizados os valores contido na tabela de dados do atributo selecionado.

O terceiro elemento básico, o vetor de médias ponderadas (W_z), também é calculado automaticamente por meio da multiplicação matricial do vetor transposto dos desvios, pela matriz de proximidade espacial com linhas normalizadas, onde cada elemento de uma linha i qualquer, originariamente com valor 1, é dividido pelo número de elementos não nulos da mesma linha. Desta forma, como resultado, cada elemento w_{zi} , contém um valor correspondente à média dos desvios dos vizinhos ao objeto i (NEVES et al., 2000).

A partir destes elementos são calculados o Índice de Moran Global e o Indicador Local de Associação Espacial (LISA). Tais atributos podem ser utilizados nas ferramentas de visualização dos Sistemas de Informações Geográficas-SIG e possibilitam a geração de mapas dos fenômenos estudados.

2.2 Índice global de associação espacial: índice de Moran I

A expressão matemática do Índice Global de Moran, I , a partir dos elementos descritos anteriormente é dado por:

$$I = \frac{Z^t \cdot W_z}{Z^t \cdot Z} \quad (1)$$

onde:

Z^t é o vetor dos desvios transposto;

W_z é o vetor de médias ponderadas;

Z é o vetor dos desvios.

O índice global de Moran varia entre -1 e 1. A sua interpretação prática é: valores positivos indicam que existe uma associação espacial (autocorrelação espacial) positiva para a variável observada. Quanto mais próximo for o índice global da unidade, mais forte é a dependência espacial entre as observações. De forma inversa, se o índice assumir valores negativos, isto indica que existe, então, uma autocorrelação espacial negativa entre as observações. Valores próximos de zero indicam que existe pouca dependência espacial entre as observações Neves e Luiz (2006).

2.3 Índice local de associação espacial (LISA)

Uma vez que o Índice Global de Moran analisou de maneira geral o conjunto dos dados e identificou a existência da autocorrelação espacial, é possível então analisar cada elemento do conjunto em nível local, buscando a identificação de aglomerados de elementos

que apresentem para os valores dos seus atributos dados semelhantes os quais são chamados de “clusters”. Os elementos que apresentam comportamento atípico com relação aos seus vizinhos são chamados de “outliers”, bem como regimes espaciais diferenciados.

Anselin (1995) sugere que, de forma geral, um Indicador Local de Associação Espacial deve atender aos seguintes requisitos:

- o LISA para cada observação deve fornecer uma indicação da extensão da aglomeração espacial significativa de valores similares em torno dessa observação;
- a soma de todas as observações do LISA seja proporcional ao indicador global de associação espacial.

Neste trabalho foi utilizado como LISA o Índice Local de Moran que pode ser obtido por meio da Equação:

$$I_i = \frac{Z_i \cdot W_{z_i}}{\sigma^2} \quad (2)$$

onde:

I_i : índice local para o objeto i ;

Z_i : valor do desvio do objeto i ;

W_{z_i} : valor médio dos desvios dos objetos vizinhos de i ;

σ^2 : variância da distribuição dos valores dos desvios.

2.4 Gráfico de espalhamento de Moran

A partir da plotagem dos valores de W_z em Z é possível traçar uma reta de regressão linear para tais valores cuja inclinação é equivalente ao Índice Global de Moran, (NEVES et al., 2000). Este Gráfico é chamado de Gráfico de Espalhamento de Moran (ANSELIN, 1996) e permite classificar os elementos de acordo com os valores de Z e W_z em quatro diferentes quadrantes, como pode ser visto na Fig. 1.

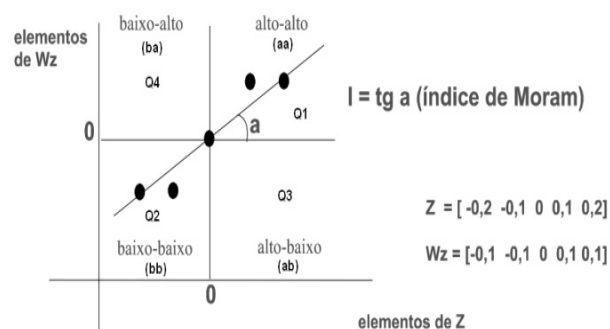


Figura 1- Gráfico de Espalhamento de Moran.

Fonte: Adaptado de Neves et al. (2000).

Nos quadrantes Q1 e Q2 estão situados os clusters. Os elementos situados no quadrante 1, alto-alto (aa) apresentam valores altos de Z e altos também de W_z . Trata-se de microrregiões com alto valor da

variável sob análise cercadas por vizinhos com valores altos. Os elementos situados no quadrante 2, baixo-baixo (bb) apresentam valores baixos de Z e baixos também de Wz. Trata-se de microrregiões com baixo valor da variável sob análise cercadas por vizinhos com valores baixos.

Nos quadrantes Q3 e Q4 estão situados os outliers. Os elementos situados no quadrante 3, alto-baixo (ab) apresentam valores altos de Z e baixos de Wz. Trata-se de microrregiões com alto valor da variável sob análise cercadas por microrregiões de valores baixos. Finalmente, os elementos situados no quadrante 4 baixo-alto (ba) apresentam valores baixos de Z e altos de Wz. Trata-se então de microrregiões de valor baixo da variável sob análise cercadas por microrregiões de altos valores.

Foram construídos mapas que mostram tais elementos de acordo com a sua posição no gráfico de espalhamento de Moran visando facilitar o entendimento de tais relações espaciais.

3. METODOLOGIA

A seguir são apresentados os recursos disponíveis, fluxograma das etapas desenvolvidas, bem como a descrição detalhada de cada etapa.

3.1 Recursos disponíveis

3.1.1 Programas utilizados

Todo o trabalho foi realizado utilizando *softwares* livres, a estatística descritiva e o teste de normalidade foram realizados no R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2013), as operações de geoprocessamento para preparar os arquivos bem como a elaboração dos mapas foi realizada no Quantum GIS enquanto que a Análise Exploratória Espacial dos dados foi realizada no Terra View por meio do módulo de Análise Estatística Espacial.

O Ambiente R ou simplesmente R é uma linguagem orientada a objetos criada em 1996 por Ross Ihaka e Robert Gentleman (SOUZA et al., 2004). Apresenta código fonte aberto, o que significa que pode ser modificado ou implementado com novos procedimentos desenvolvidos por qualquer usuário a qualquer momento. Possibilita a realização de operações matemáticas simples, a manipulação de vetores e matrizes, bem como a análise e manipulação de dados, com testes paramétricos e não paramétricos, modelagem linear e não linear, análise de séries temporais, análise de sobrevivência, simulação e estatística espacial, entre outros, além de apresentar facilidade na elaboração de diversos tipos de gráficos, no qual o usuário tem pleno controle sobre o gráfico criado. Com isso, consolida-se como uma importante ferramenta estatística e uma alternativa aos programas comerciais.

O Quantum GIS (QGIS) é um *software* SIG com uma interface gráfica simples e atraente, escrito em

C++ e Python e baseado nas bibliotecas Qt4 (MANGHI et al., 2011). Suporta numerosos formatos vetoriais, raster, e bases de dados, e fornece uma ampla gama de funções de geoprocessamento raster e vetorial. Trata-se de uma aplicação multiplataforma que funciona em todas as principais versões do Unix, GNU/Linux, bem como Mac OSX e MS Windows. O projecto QGIS é o resultado do trabalho voluntário de um grupo de desenvolvedores, tradutores, autores de documentação e pessoas que ajudam no processo de lançamento de novas versões, identificando e divulgando as falhas do programa. É livremente distribuído com a licença GPL (GNU General Public License) e é um projeto oficial da Open Source Geospatial Foundation (OSGeo). Atualmente encontra-se na versão 1.8.

O TerraView (INPE, 2010) é um aplicativo construído sobre a biblioteca de geoprocessamento TerraLib, tendo como principais objetivos: Apresentar à comunidade um fácil visualizador de dados geográficos com recursos de consulta a análise destes dados; Exemplificar a utilização da biblioteca TerraLib. O TerraView manipula dados vetoriais (pontos, linhas e polígonos) e matriciais (grades e imagens), ambos armazenados em Sistema Gerenciador de Bancos de Dados relacionais ou georrelacionais de mercado, incluindo ACCESS, PostgreSQL, MySQL, Oracle, SQLServer e Firebird.

3.1.2 Dados utilizados

As informações foram obtidas junto ao Instituto de Economia Agrícola (IEA) do Estado de São Paulo que disponibiliza 4 vezes ao ano (janeiro, fevereiro, junho e novembro) os Valores de Terra Nua (VTN) de cinco categorias de terras agrícolas a saber: Terra de Cultura de Primeira (TC1), Terra de Cultura de Segunda (TC2), Terra para Pastagem (TP), Terra para Reflorestamento (TR) e Terra de Campo (TCO) (IEA, 2013). Valor da Terra Nua (VTN) refere-se ao valor de mercado do imóvel, excluídos os valores de mercado relativos a construções, instalações e benfeitorias; culturas permanentes e temporárias; pastagens cultivadas e melhoradas; florestas plantadas. Neste trabalho foram utilizados os dados tabelados de junho de 2012.

As informações de preços de terras disponibilizadas pelo IEA estão agrupadas de acordo com a regionalização da Coordenadoria de Assistência Técnica Integral (CATI) a qual agrupa os 645 municípios paulistas em Escritórios de Desenvolvimento Rural (EDR) sendo atualmente 40.

Descreve-se abaixo as características das categorias de terras estudadas:

Terra de cultura de primeira: potencialmente apta para culturas anuais, perenes e outros usos, que suporta manejo intensivo de práticas culturais, preparo de solo entre outros. É terra de produtividade média a alta, mecanizável, plana ou ligeiramente declivosa e o solo é profundo e bem drenado.

Terra de cultura de segunda: apesar de potencialmente apta para culturas anuais e perenes e para outros usos, apresenta limitações bem mais sérias do que a terra de cultura de primeira. Pode apresentar problemas de mecanização, devido à declividade acentuada. O solo é profundo, bem drenado, de boa fertilidade, necessitando, às vezes, de algum corretivo.

Terra para pastagem: imprópria para culturas, mas potencialmente apta para pastagem e silvicultura. É terra de baixa fertilidade, plana ou acidentada, com exigências, quanto às práticas de conservação e manejo, de simples a moderadas, considerando o uso indicado.

Terra para reflorestamento: imprópria para culturas perenes e pastagens, mas potencialmente apta para silvicultura e vida silvestre, cuja topografia pode variar de plana a bastante acidentada, podendo apresentar fertilidade muito baixa.

Terra de campo: terra com vegetação natural, primária ou não, com possibilidades restritas de uso para pastagem ou silvicultura, cujo melhor uso é para o abrigo da flora e da fauna.

Obteve-se o produto Malha Digital Municipal do Estado de São Paulo na escala 1:250.000 junto ao Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010) no formato *shapefile*.

Também foram utilizados os dados de Valor da Produção Agropecuária (VPA) do Estado de São Paulo obtidos do trabalho de Tsunehiro et al. (2013b).

3.2 Procedimentos metodológicos

Na Fig. 2 pode-se observar as etapas para o desenvolvimento do trabalho.

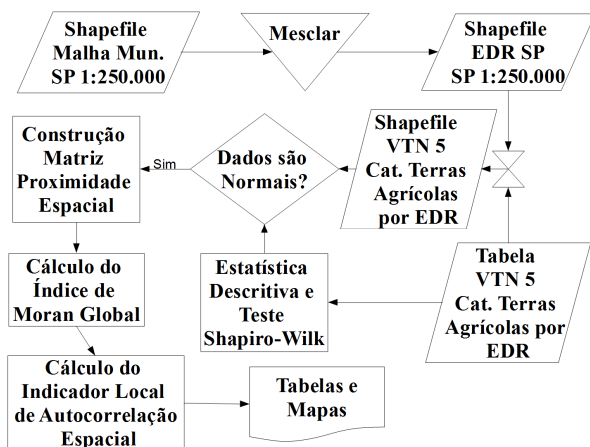


Figura 2 – Fluxograma das etapas do trabalho.

O levantamento dos preços das terras é disponibilizado no formato de tabelas pelo IEA, e para que fosse possível realizar a análise espacial, elas foram associadas às informações vetoriais das regiões correspondentes.

Primeiramente, por meio de operações de geoprocessamento, transformou-se o arquivo vetorial da malha municipal do Estado de São Paulo no arquivo vetorial de EDR. Em seguida foram inseridas as

informações tabeladas de Preço da Terra Nua das cinco categorias de Terras Agrícolas estudadas na tabela de atributos do referido arquivo vetorial. Com isso, foi obtido o arquivo vetorial dos Preços de Terras Agrícolas agrupados pelos EDR.

Os dados tabelados foram analisados para obter a estatística descritiva e submetidos ao teste de Normalidade de Shapiro-Wilk pois a existência de normalidade é requisito para o prosseguimento dos procedimentos.

Após a verificação da normalidade construiu-se a matriz de proximidade espacial, na qual foi definida a estratégia de construção com base na contiguidade e considerando que os vizinhos teriam pesos iguais.

O próximo passo foi realizar o cálculo do Índice de Moran Global.

Após a confirmação da existência da autocorrelação espacial foi possível calcular os Indicadores Locais de Associação Espacial. A partir destes indicadores foram produzidos o Mapa de *clusters* e o Mapa de Significância dos *clusters* para as cinco categorias de terras estudadas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As Tab. 1 e 2 mostram os resultados da Estatística Descritiva e o resultado do Teste de Normalidade de Shapiro-Wilk, respectivamente, para o conjunto dos dados. Todas as categorias de terras apresentaram distribuição Normal, o que possibilitou a realização da AEDE.

Tabela 1 - Estatística Descritiva (continua).

	TC1	TC2	TP
N	40,00	40,00	40,00
Min (R\$)	4.427,39	3.865,51	2.720,39
Max (R\$)	33.648,17	26.859,50	23.760,33
Média (R\$)	17.748,07	14.881,97	12.551,85
Mediana (R\$)	17.509,47	14.644,83	12.727,46
Desvio Padrão (R\$)	6.514,81	5.434,18	4.535,45
CV (%)	36,71	36,52	36,13

Tabela 1 - Estatística Descritiva (conclusão).

	TR	TCO
N	40,00	40,00
Min (R\$)	2.280,24	0,00
Max (R\$)	18.181,82	15.840,22
Média (R\$)	10.772,18	9.599,17
Mediana (R\$)	11.452,19	10.570,48
Desvio Padrão (R\$)	3.491,77	3.680,03
CV (%)	32,41	38,34

Tabela 2 - Teste de Shapiro-Wilk.

Categorias de Terras	W	p-valor
Terra de Cultura de Primeira	0,9574	0,1360
Terra de Cultura de Segunda	0,9822	0,7713
Terra para Pastagem	0,9792	0,6591
Terra para Reflorestamento	0,9748	0,5034
Terra de Campo	0,9687	0,3274

Na Tab. 03 são apresentados os resultados para o teste Índice de Moran Global. Todas as categorias de terras apresentaram valores positivos, o que indica a existência de autocorrelação espacial. O p-valor indica que todas as categorias foram significativas estatisticamente (Tab. 03).

Analisando-se as Tab. 1 e 3 observa-se que as categorias com os maiores valores dos preços médios de terras foram as que apresentaram também os maiores valores do Índice de Moran Global, indicando, neste caso, que quanto maior o valor da terra maior o grau de dependência espacial.

Tabela 03 – Índice de Moran e Teste de Significância.

Categorias de Terras	Índice de Moran I	p-valor
Terra de Cultura de Primeira	0,613166	0,001
Terra de Cultura de Segunda	0,554675	0,001
Terra para Pastagem	0,481628	0,001
Terra para Reflorestamento	0,408944	0,003
Terra de Campo	0,336806	0,008

Buscou-se relacionar a formação dos clusters nos EDR com o VPA. O objetivo foi verificar a existência de associação entre o Valor da Terra e a sua capacidade de geração de renda. Os valores de VPA foram obtidos do trabalho de Tsunechiro et. al. (2013) e estão espacializados em função dos desvios padrão em torno na média na Fig 3.

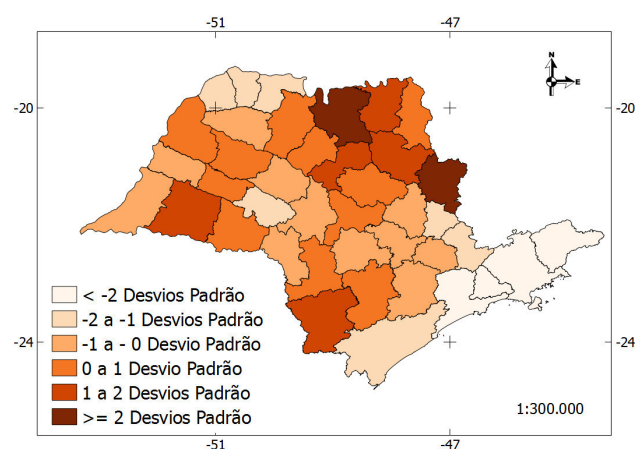


Figura 3 - Espacialização do Valor da Produção Agropecuária nos EDR do Estado de São Paulo.

Para a categoria Terra de Cultura de primeira a análise do LISA revelou a existência de apenas 2 *clusters*. Os *clusters* foram determinados com no mínimo 95% de confiança.

O *cluster* de VTN alto (aa) está em amarelo na Fig. 4, é composto pelos EDR: Barretos, Orlândia, Franca, Ribeirão Preto, Araraquara, São João da Boa Vista, Limeira, Piracicaba, Campinas, Bragança Paulista, Mogi Mirim.

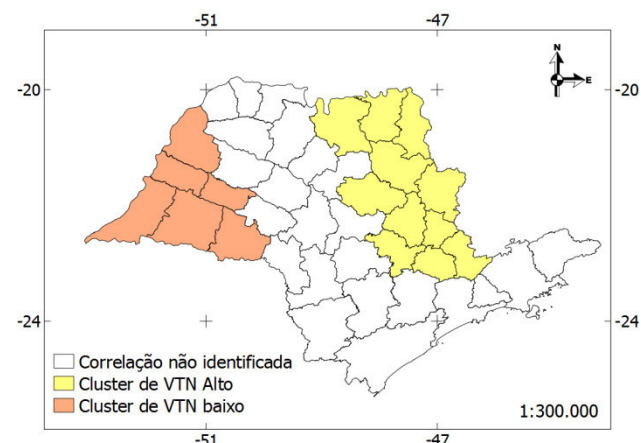


Figura 4 – Espacialização dos *clusters* para Terra de Cultura de Primeira e Terra de Cultura de Segunda.

Neste *cluster* observa-se que os EDR de Barretos, São João da Boa Vista, Orlândia, Ribeirão Preto, Araraquara e Franca estão entre os EDR com os maiores VPA, respondendo juntos por 24,58% do total da VPA do estado, estando coerente com o *ranking* elaborado por TSUNECHIRO et. al. (2013b).

No referido *ranking* os três primeiros EDR são Barretos, São João da Boa Vista e Orlândia. Nestes, os principais produtos agrícolas responsáveis pelo desempenho são a cana-de-açúcar, laranja, soja e café beneficiado, ou seja, produtos cultivados nas TC1 e TC2. Isto reforça a ideia de que o valor da terra está associado à sua capacidade de geração de renda.

O segundo *cluster* é de VTN baixo (bb) está em laranja, Fig. 4, e é formado por 6 EDR: Dracena, Andradina, Presidente Venceslau, Tupã, Presidente Prudente e Assis.

Verificou-se neste *cluster* que também existem EDR com destaque no VPA do estado, tais como Presidente Prudente, Assis e Andradina, Fig. 4, que juntos respondem por 10,77% do total do VPA. Os principais produtos agrícolas responsáveis por este desempenho são: cana-de-açúcar, soja, milho e abacaxi.

Analisando-se a relação entre o VPA e o valor da terra pode-se comparar por exemplo os EDR de Orlândia e Presidente Prudente, os quais no *ranking* do VPA ocupam a terceira e quarta colocações com desempenho percentual de 4,35% e 4,01% respectivamente. Entretanto, o primeiro está num *cluster* alto-alto enquanto que o segundo está em um *cluster* baixo-baixo Fig. 4. O preço médio das TC1 do *cluster* de VTN alto do qual Orlândia faz parte é de

R\$24.545,00 enquanto que o preço médio das TC1 no *cluster* de VTN baixo, onde Presidente Prudente está inserido é de R\$ 9.142,32. Isso corresponde a uma variação de 268% nos preços das terras para um desempenho apenas 8,47% superior no VPA. Sabe-se que muitos fatores influenciam a tomada de decisão, mas analisando-se apenas os fatores mencionados seria mais interessante para um grupo que deseja produzir cana-de-açúcar adquirir terras no EDR Presidente Prudente que possui preços mais baixos e desempenho semelhante em relação ao VPA.

A Análise do LISA para a Categoria Terra de Cultura de Segunda revelou a mesma formação e configuração de *cluster* encontrada na Terra de Cultura de Primeira, sendo que a discussão que segue também tem como base a Fig. 4.

A mesma análise realizada para as TC1 vale para TC2 com diferença apenas nos preços médios, pois no *cluster* de VTN alto estão em torno de R\$20.083,20 e no *cluster* de VTN baixo encontram-se por volta de R\$ 8.104,14, o que representa uma variação de 247,81%.

Para a categoria Terra para Pastagem a análise do LISA, Fig. 5, revelou a existência de 2 *clusters* de preços, sendo um de VTN alto (aa) e outro de VTN Baixo (bb). Além disso, foi identificado um *outlier* de preço baixo rodeado por preços altos (ba) representado na cor marrom, Fig. 5. Todos os *clusters* foram determinados com 95% de confiança.

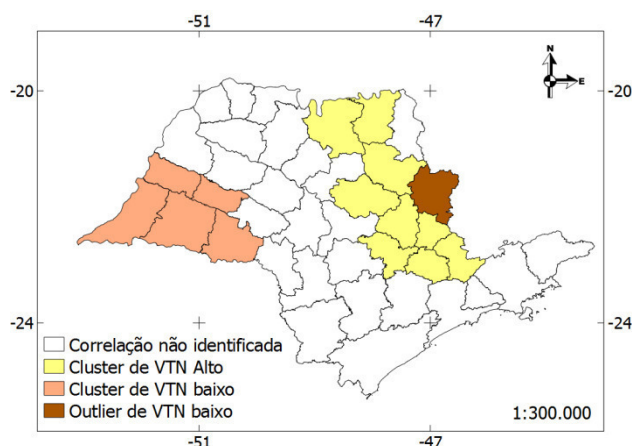


Figura 5 – Espacialização dos *clusters* para Terra de Pastagem.

O *cluster* de VTN alto (aa) é constituído por nove EDR: Barretos, Orlandia, Ribeirão Preto, Araraquara, Limeira, Piracicaba, Mogi Mirim, Campinas e Bragança Paulista.

Com relação a este *cluster*, com exceção do EDR de Campinas, todos os EDR possuem entre os quatro principais produtos responsáveis pelo seu VPA a carne bovina, o que explica os preços das terras utilizadas como pastagens se destacarem com relação a outros EDR do estado.

O *cluster* de VTN baixo (bb) é constituído por cinco EDR: Dracena, Tupã, Presidente Venceslau, Presidente Prudente, Assis.

Neste *cluster* também nota-se a expressiva

participação percentual que a carne bovina tem na composição do VPA dos EDR: Dracena 21,3%, Tupã 21,5%, Presidente Venceslau 39,8%, Presidente Prudente 22,6% e Assis 7,2%.

O *outlier* de preço baixo rodeado por EDR com preços altos (ba) no EDR São João da Boa Vista, na cor marrom (Fig. 5), foi determinado com 95% de confiança. Este EDR é considerado *outlier* pois seus preços são mais baixos que o dos seus vizinhos identificados como aglomerados de preços altos. Observa-se isto analisando o preço da TP neste EDR que está em torno de R\$12.424,24 enquanto que nos seus vizinhos o preço médio é de R\$17.212,00. Fato interessante, pois para TC1 e TC2 este EDR estava no *cluster* de preços altos. Esta mudança pode estar relacionada ao fato de que na composição do VPA para este EDR os principais produtos são a cana-de-açúcar, café beneficiado, carne de frango e laranja para indústria, ou seja, a renda dos produtos agrícolas tem maior influência, fazendo com que esta seja a destinação preferencial para as terras, consequentemente as TP não são tão valorizadas.

A variação de preços entre os *clusters* continua elevada com preço médio do *cluster* de VTN alto em torno de R\$17.212,00, enquanto que no *clusters* de VTN baixo o preço médio é de R\$5.972,49 o que representa uma variação de 288,18%.

Para a categoria Terra para Reflorestamento a análise do LISA revelou a existência de três *clusters* e dois *outliers* (Fig. 6), definidos com confiança de no mínimo 95%. Os *clusters* de VTN alto (aa) foram identificados em duas regiões diferentes, sendo que o primeiro era constituído por dois EDR, a saber: Barretos e Catanduvas, e o segundo *cluster* foi constituído pelos EDR Limeira, Mogi Mirim, Piracicaba e Campinas. O *cluster* de preços baixos (bb) foi constituído por 5 EDR: Dracena, Tupã, Presidente Venceslau, Presidente Prudente e Assis. Houve um *outlier* de preço baixo rodeado por preços altos (ba) identificado em São João da Boa Vista com confiança de 99% e também foi observado um *outlier* de preço alto rodeado por EDR de preços baixos (ab) na cor cinza (Fig. 6), identificado em Ourinhos com 95% de confiança.

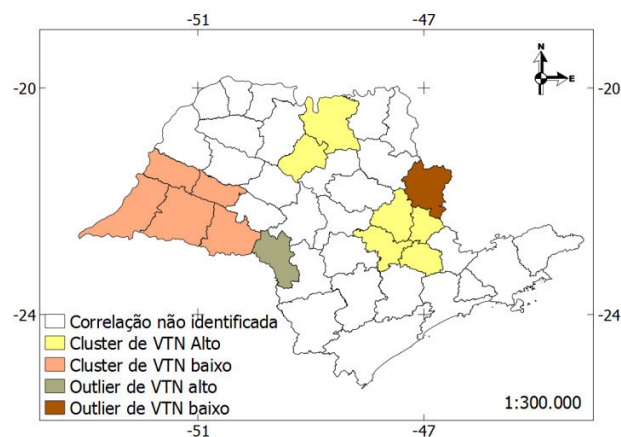


Figura 6 – Espacialização dos *clusters* para Terra de Reflorestamento.

Nesta categoria o IEA não dispõe de dados regionalizados do VPA por isso não foi possível fazer o relacionamento como nas categorias discutidas anteriormente.

A diferença de preços entre os *clusters* observada nas outras categorias se repete sendo que o preço médio no primeiro *cluster* de preços altos foi de R\$12.396,70 e no segundo *cluster* de preços altos foi de R\$15.361,60 enquanto que no *cluster* de preços baixos a média de preços foi de R\$5.720,27. A variação percentual entre o *cluster* de preços mais altos e o de preços mais baixos foi de 268,54%.

Mais uma vez, pode-se observar o fenômeno dos *outliers* sendo que o EDR São João da Boa Vista (Fig. 6, cor marrom) foi um *outlier* de preços baixos (ba) que apresentou preços de R\$10.394,15, enquanto que seus vizinhos apresentaram preço médio de R\$15.361,60 e o EDR Ourinhos foi um *outlier* de preços altos (ab) que apresentou preços médios de R\$ 11.205,64 enquanto que o preço médio dos vizinhos foi de R\$5.720,27.

Para a categoria Terra de Campo a análise do LISA revelou a existência de 3 *clusters* de preços sendo dois de VTN altos (aa) e um de VTN baixos (bb) (Fig. 7). Foi identificado um *outlier* de preço alto rodeado por EDR de preços baixos no EDR Ourinhos. Todos foram determinados com confiança de no mínimo 95% (Fig. 7).

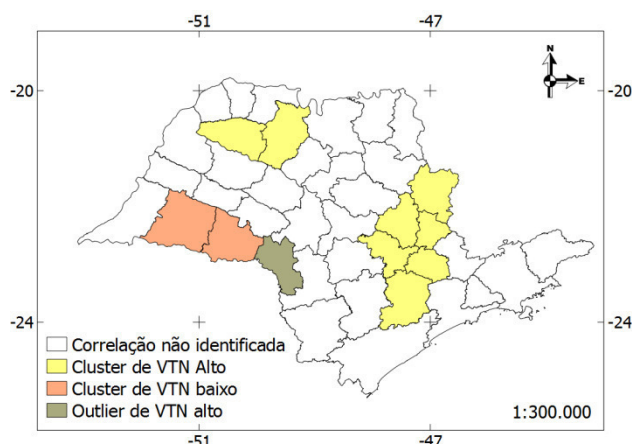


Figura 7 - Espacialização dos *clusters* para Terra de Campo.

O primeiro *cluster* de VTN alto é composto pelos EDR: General Salgado e São José do Rio Preto. O segundo *cluster* de VTN altos é composto por seis EDR: Sorocaba, Campinas, Piracicaba, Limeira, Mogi Mirim, São João da Boa Vista.

O *cluster* de VTN baixo é composto pelos EDR: Presidente Prudente e Assis.

Como a categoria TCO não se trata de áreas produtivas, não é possível relacionar a formação dos *clusters* com o VPA, entretanto, uma possibilidade para a ocorrência de *clusters* de altos valores poderia se dar em virtude da necessidade de terras com vegetação nativa para recomposição de áreas de reserva legal nas proprie rurais em virtude das exigências do novo

Código Florestal, trata-se, entretanto, apenas de uma suposição que carece de estudos para que possa ser comprovada.

Como aconteceu nas outras categorias também foi observada elevada diferença entre o preço médio dos *clusters* sendo que no primeiro de VTN alto foi observado o preço médio de R\$13.016,50 enquanto que no segundo o preço médio foi de R\$13.533,10. Como o preço médio no *cluster* de preço baixo foi de R\$5.506,89 obteve-se respectivamente uma diferença de 236,36% e de 245,74%.

O *outlier* Ourinhos apresentou preço de R\$10.898,76 enquanto que o preço médio dos vizinhos foi de 5.506,89.

Em todas as categorias de terras observou-se que os EDR de Piracicaba, Campinas, Limeira e Mogi Mirim foram identificadas como *cluster* de preços altos e os EDR de Presidente Prudente e Assis foram identificados como *cluster* de preços baixos.

5. CONCLUSÕES

A técnica da AEDE mostrou-se eficiente na identificação da autocorrelação espacial em mercados de terras agrícolas e extração de informações que não estariam disponíveis com a técnicas comuns de visualização e classificação. Isso proporciona um ótimo recurso para tomada de decisão.

O uso de Identificadores Locais de Autocorrelação Espacial permitiu a delimitação de *clusters*, bem como a identificação de *outliers* nas diferentes categorias de terras.

O fato de *clusters* terem sido definidos não significa que não possam existir em regiões fora dos *clusters* preços mais baixos ou mais altos. O *cluster* indica que os preços baixos ou altos no seu interior são autocorrelacionados ou dependentes espacialmente.

Os *clusters* e os *outliers* identificados foram diferentes para cada categoria de terra estudada com exceção da TC1 e TC2, que apresentaram o mesmo comportamento. Isto é importante, pois, muitas vezes, o comportamento das categorias de terras é tratado como único dentro de um determinado mercado e estes resultados mostram que é preciso estudar o comportamento das categorias separadamente.

As avaliações de imóveis rurais realizadas no Estado de São Paulo devem atentar para a ocorrência do fenômeno da autocorrelação espacial para que possam dar o tratamento adequado aos dados e atendam aos pressupostos da norma NBR 14653-3 (ABNT, 2004).

A formação dos *clusters* está associada à renda gerada pela agropecuária, sendo que os EDR que apresentaram os maiores VPAs estavam contidos em *clusters* de preços altos. Entretanto, também observou-se EDR com elevada VPA em *clusters* de preços baixos, sendo necessários estudos específicos nestes mercados para explicar melhor tal comportamento.

Todas as ferramentas utilizadas neste trabalho e os procedimentos realizados estão à disposição dos

profissionais que trabalham com Avaliação de Imóveis Rurais, considerando que foram utilizados *softwares* livres. Assim, a metodologia aqui apresentada possui grande viabilidade econômica e torna-se um importante recurso para peritos e avaliadores.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANSELIN, L. Local Indicators of Spacial Association – LISA. *Geographical Analysis*. v.27, n.2, p.93-115, 1995.
- ANSELIN, L. The Moran scatterplot as ESDA tool to assess local instability in spatial association. In: Fisher, M.; Scholten, H. J.; Unwin, D. *Spatial Analytical Perspectives on GIS*. London: Taylor & Francis, 1996, p. 111-126.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 14653-3: avaliação de bens, parte 3: imóveis rurais. Rio de Janeiro, 2004.
- BAILEY, T. C. & GATRELL, A. C. *Interactive spatial data analysis*. Harlow: Longman, 1995.
- DANTAS, R. A.; ROCHA, F. J. S.; MAGALHÃES, A. M.; Lima, R. C. Uma Nova Metodologia Para Avaliação de Imóveis Utilizando Regressão Espacial. In: *Anais do XI Congresso Brasileiro de Engenharia de Avaliações e Perícias*. Guarapari/ES. 2001. CD ROM.
- DANTAS, R. A.; MAGALHÃES, A. M.; VERGOLINO, J. R. O. (a). Modelos Espaciais Aplicados ao Mercado de Apartamentos do Recife. In: *Anais do XII Congresso Brasileiro de Engenharia de Avaliações e Perícias – COBREAP*. Belo Horizonte/MG. 2003.
- DANTAS, R. A.; SÁ, L. A. C. M.; PORTUGAL, J. L. (b). Elaboração de Planta de Valores sob a Ótica da Inferência Espacial. In: *Anais do XII Congresso Brasileiro de Engenharia de Avaliações e Perícias – COBREAP*. Belo Horizonte/MG. 2003.
- DANTAS R. A.; PORTUGAL J. L.; PRADO J. F. Avaliação de cidades por inferência espacial: um estudo de caso para a cidade de Aracaju. In: *Anais do XIII COBREAP 2006 - Congresso Brasileiro de Engenharia de Avaliações e Perícias*. Fortaleza, Brasil, 2006.
- DRUCK, S.; CARVALHO, M.S.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A.V.M. *Análise espacial de dados geográficos*. Brasília, EMBRAPA, 2004 (ISBN: 85-7383-260-6).
- GONCALVES, E. O padrão espacial da atividade inovadora Brasileira: uma análise exploratória. *Estud. Econ.*, São Paulo, v. 37, n. 2, June 2007. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-41612007000200007&lng=en&nrm=iso>. Acessado em 10 de abril de 2013.
- HORNBURG, R. A. e HOCHHEIM, N. Elaboração de planta de valores genéricos com uso combinado de regressão espacial e krigagem. In: *XV COBREAP - Congresso Brasileiro de Engenharia de Avaliações e Perícias*, 2009, São Paulo. XV COBREAP - Congresso Brasileiro de Engenharia de Avaliações e Perícia.. São Paulo: Tec Art Editora Ltda, 2009. v. 1. p. 1-35.
- INPE. TerraView 4.1.0. São José dos Campos, SP: INPE, 2010. Disponível em: www.dpi.inpe.br/terraview. Acesso em: 02/06/2013.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Malha Municipal 2010. 2010. Disponível em: <ftp://geoftp.ibge.gov.br/malhas_digitais/municipio_2010/leia_me/Malha_Municipal_2010.pdf>. Acesso em: 08 de mar. de 2013.
- INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA (IEA). Valor de terra nua. 2013. Disponível em: http://ciagri.iea.sp.gov.br/nia1/precor.aspx?cod_tip_o=1&cod_sis=8. Acesso em: 01/07/2013
- LIMA, M. R. C. *Avaliação de Propriedades rurais: manual básico*. – 2. ed. rev. e atual. – São Paulo: Liv. e Ed. Universitária de Direito, 2005.
- MANGHI G.; CAVALINHENSE P.; NEVES V. Quantum GIS: Um desktop potente e amigável. *Revista FOSSGIS Brasil*, Junho 2011. Disponível em: www.fossgisbrasil.com.br. Acesso em: 01/04/2013.
- MICHAEL, R.; HOCHHEIM, N. e TRIVELLONI, C. A. P. Avaliação em massa de imóveis com uso de inferência estatística e análise de superfície de tendência. In: *Anais do XIII COBREAP 2006 – Congresso Brasileiro de Engenharia de Avaliações e Perícias*. Fortaleza, Brasil, 2006.
- MOREIRA, A., MIGON, H. Heterogeneidade espacial da produtividade na agropecuária: Brasil — 1970/96. Rio de Janeiro: IPEA, fev. 2000 (para Discussão, 707). Texto
- NEVES, M. C.; RAMOS, F. R.; CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V.; CAMARGO, E. C. G. . Análise exploratória espacial de dados socioeconômicos de São Paulo. In: *Gisbrasil 2000, 2000, Salvador. Gisbrasil 2000 (CD-ROM)*, 2000.
- NEVES, M. C. ; LUIZ, A. J. B. . Distribuição espacial da cultura de café no Estado de São Paulo. *Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente*, 2006 (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento da Embrapa Meio Ambiente - número 40).
- PEROBELLI, F. S. ; FARIA, W. R. ; FERREIRA, P. G. . Análise de convergência espacial do pib per capita em minas gerais: 1975-2003. In: *XI Encontro Regional de Economia*, 2006, Fortaleza. Nordeste: Estratégias de Desenvolvimento Regional. Fortaleza: BNB, 2006.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM (2013). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>.
- RESENER, M., HOCHHEIM, N. Avaliação de imóveis rurais por inferência estatística e análise de superfície de tendência. In: *Anais do XIII COBREAP 2006 - Congresso Brasileiro de*

Engenharia de Avaliações e Perícias. Fortaleza, Brasil, 2006.

SOUZA, E. F. M. DE; PETERNELLI, L. A.; MELLO, M. P. DE. Software Livre R: aplicação estatística. Disponível em:
<http://www2.ufersa.edu.br/portal/view/uploads/setores/137/Apostilas%20e%20Tutoriais%20-%20R%20Project/Apostila%20R%20-%20GenMelhor.pdf>. Acessado em 10/04/2013.

TSUNECHIRO, A. et al (a). Valor da Produção Agropecuária por Região, Estado de São Paulo em

2012. Análises e Indicadores do Agronegócio v. 8, n. 5, maio 2013. Disponível em:
<http://www.iea.sp.gov.br/out/LerTexto.php?codTexto=12633>. Acesso em: 10/07/2013

TSUNECHIRO, A. et al (b). Valor da produção agropecuária e florestal do Estado de São Paulo em 2012. Análises e Indicadores do Agronegócio, São Paulo, v. 8, n. 4, abr. 2013. Disponível em:
<<http://www.iea.sp.gov.br/out/LerTexto.php?codTexto=12619>>. Acesso em: 10 de julho 2013.

Utilização de espelho de reflexão frontal aliado ao nivelamento geométrico para determinação de desnível de pontos em ambientes confinados

Use of a geodetic level along with a plain mirror of frontal reflection to aid the definition of height differences in confined environments

Wander da Cruz¹
Niarkios Luiz Santos de Salles Graça¹
Pedro Luis Faggion¹

¹Universidade Federal do Paraná – UFPR. Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas. Setor de Ciências da Terra. Departamento de Geomática. Caixa Postal 19001, Cep 81.531-990. Curitiba, PR, Brasil.
wander.cruz@ufpr.br, niarkiosnl@hotmail.com, faggion@ufpr.br

RESUMO – O propósito deste trabalho é avaliar a utilização de um nível geodésico, em conjunto com um espelho plano de reflexão frontal, na determinação de desníveis de primeira ordem em ambientes confinados. Para isso, foi definido um modelo matemático baseado no princípio da retificação de níveis. Este modelo consiste em determinar a inclinação aplicada ao espelho e assim projetar as leituras realizadas na mira para um plano horizontal comum a todas. A fim de se validar o modelo matemático utilizado foi realizada uma série de experimentos, nos quais se constatou a real possibilidade de utilização da técnica. Porém, erros de até 12mm de magnitude foram encontrados, inviabilizando o emprego da técnica proposta para nivelamentos de primeira ordem. Estes erros podem estar associados à modelagem da atitude do espelho, sendo necessário um estudo mais aprofundado. No entanto, a técnica pode ser utilizada em nivelamentos de terceira ordem.

Palavras-chave: Nivelamento Geométrico, Espelho Plano, Levantamento de Locais Inacessíveis.

ABSTRACT – The purpose of this work is to evaluate the use of a geodetic level along with a plain mirror of frontal reflection to aid the definition of height differences in confined environments. To achieve this, a mathematical model based on the principle of level (instrument) rectification was defined. The model consists of determining the tilts applied to the mirror in order to project the readings on the levelling rod to a horizontal plane common to all readings. To evaluate this model a series of experiments was conducted and the feasibility of the proposed technique could be proven. However errors with magnitude up to 12 mm were found, voiding the technique for first order levelling. Such errors could be associated to modelling the mirror's attitude and a deeper study is required. The technique may be used for third order levelling.

Keywords: Geometric Leveling, Plan Mirror, Survey of Inaccessible Places.

1. INTRODUÇÃO

Os levantamentos em ambientes de difícil acesso ou confinados podem ser realizados utilizando-se de metodologias que diferem das conhecidas na topografia convencional. Um exemplo disso pode ser encontrado no trabalho desenvolvido por Gonçalves (2009), cujo trecho está transcrito a seguir:

“Atualmente, além dos levantamentos topográficos convencionais, destaca-se a topografia industrial, que tem dentre seus objetivos: a locação com precisão de estruturas e equipamentos, o controle métrico de equipamentos e produtos industriais e o controle de deslocamento de máquinas.

Nesses levantamentos, o método empregado na aquisição de dados é escolhido de acordo com a possibilidade de obtenção dos mesmos. Porém, existem

diversas dificuldades que envolvem essa etapa da geração de produtos topográficos, tais como: impossibilidade de medida direta de distância, de ângulos verticais e direções horizontais em face da obstrução existente entre a estação total e o alvo, instabilidade (por vibração do solo) no local do levantamento e impossibilidade de visualização do objeto em estudo.

Para contornar esses problemas, tem se realizado pesquisas buscando desenvolver metodologias que viabilizem a realização de medições que não seriam possíveis utilizando as técnicas tradicionais.

Pensando nisso, essa tese foi concebida com o objetivo de desenvolver um método para determinação de coordenadas de pontos, realizando-se medições de ângulos verticais, direções horizontais e distâncias inclinadas utilizando estação total e acessórios desenvolvidos especificamente para atender esse projeto,

ou seja, determinar coordenadas de objetos usando um espelho plano para desviar a visada. ”

Então, surgiu a proposta de realizar um estudo do comportamento de um nível geodésico juntamente com o espelho plano para se verificar a eficácia de sua utilização em nivelamentos de primeira ordem.

Para minimizar os erros de desvio de visada devido à refração ocorrida na mudança de meio, utilizou-se um espelho plano com espelhamento frontal. Tal modelo de espelhamento não utiliza vidro antes da superfície espelhada, o que faz com que a incidência dos raios luminosos ocorra sem desvios.

Neste estudo foram fixados ganchos metálicos na parede próxima ao Laboratório de Instrumentação Geodésica – LAIG, na Universidade Federal do Paraná, nos locais em que se desejava materializar os pontos a serem levantados. Nos ganchos foi colocada uma mira fabricada com PVC (Policloroetano) e graduada em código de barras, de forma semelhante às utilizadas pelo nível. Esta mira foi desenvolvida no projeto de automação de níveis digitais conduzido em um projeto de doutorado desenvolvido no programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas da Universidade Federal do Paraná, (ANDOLFATO, 2010)

Com o nível e o espelho foram determinados os desníveis. Os pontos foram dispostos de tal maneira que, para cada par de visadas ou mesmo para cada visada, era necessário inclinar o espelho no eixo horizontal e rotacionar no eixo vertical.

Em seguida determinaram-se os desníveis entre os pontos de forma direta para comparação dos valores obtidos pelos dois diferentes métodos (direto e indireto).

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Espelho de Reflexão Frontal

A superfície que permite a reflexão de um feixe de luz é denominada de superfície refletora. No estudo em questão, é utilizado um espelho de reflexão frontal, isto quer dizer que o dispositivo utilizado não possui vidro na parte da frente da superfície refletora, como demonstrado na Figura 1.

Esta ausência minimiza o fenômeno da refração, pois o feixe de luz não sofre desvio ao atravessar o vidro (GONÇALVES, 2009).



Figura 1 - Espelho de reflexão frontal
Fonte: Gonçalves (2009)

Características da reflexão de objetos:

- a) a distância entre a imagem e o espelho é sempre igual à distância entre o objeto e o espelho;
- b) o tamanho da imagem é sempre igual ao tamanho do objeto;
- c) os raios incidentes e refletidos permanecem no mesmo plano.

A igualdade do tamanho do objeto e da imagem pode ser demonstrada por meio da Figura 2:

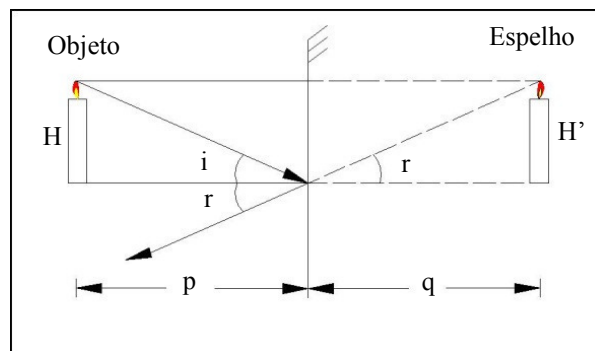


Figura 2 – Objeto e Imagem
Fonte: Adaptado de Schiel (2009).

Onde:

- i - ângulo de incidência;
- r - ângulo de reflexão;
- p - distância do objeto ao espelho;
- q - distância da imagem ao espelho;
- H - tamanho do objeto;
- H' - tamanho da imagem.

O raio refletido e o raio incidente pertencem ao mesmo plano (Figura 3), segundo a Lei de Reflexão, sendo o ângulo de incidência (i) igual ao ângulo de reflexão (r) em uma reflexão especular (HALLIDAY et al., 2003).

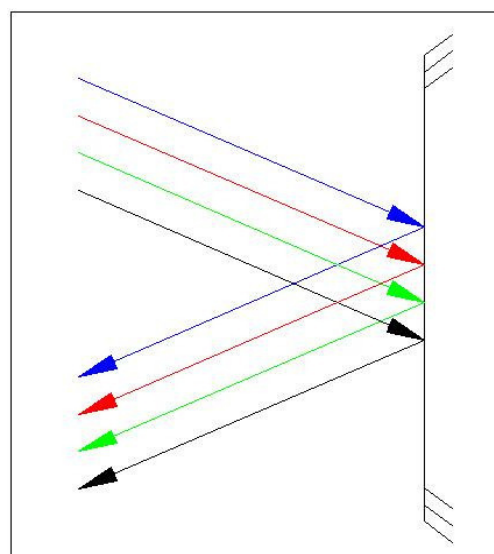


Figura 3 – Reflexão especular
Fonte: adaptado de Halliday et al. (2003)

Em um espelho comum, conforme mostrado na Figura 4, um raio que atravessa o vidro sofre reflexão e refração até que encontre a superfície pela qual é refletido e, em seguida, sofre estes dois efeitos quando da passagem do vidro para o ar (CORDINI, 1991; GONÇALVES, 2009).

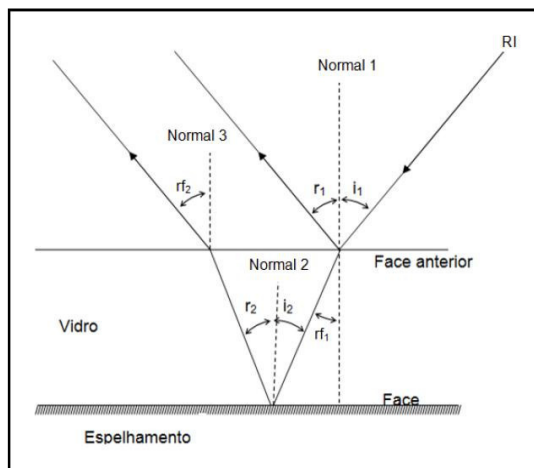


Figura 4 - Dupla Reflexão
Fonte: Gonçalves (2009)

Onde:

- i1 - Ângulo de incidência na face anterior;
- r1 - Ângulo de reflexão na face anterior;
- rf1 - Ângulo da primeira refração;
- i2 - Ângulo de incidência na face posterior;
- r2 - Ângulo de reflexão na face posterior;
- rf2 - Ângulo da segunda refração;
- RI - Raio incidente.

No estudo em questão, como se utiliza a técnica de espelhamento frontal, o efeito da refração dos espelhos comuns não se verifica. O espelho utilizado é semelhante aos usados em autocolimação, que devem ser opticamente planos e espelhados na superfície frontal, normalmente confeccionados em cristal, podendo também usar superfícies polidas, desde que perfeitamente planas (FAGGION, 1993).

O espelho empregado neste trabalho foi o mesmo utilizado por Gonçalves (2010) em sua tese de doutorado e outros trabalhos publicados. Na época, verificou-se que, apesar de fabricado por profissional especialista em óptica para lunetas e teodolitos, o referido espelho não resultou perfeitamente plano, o que resulta em possíveis desvios indesejados durante a visada.

2.2 Níveis Digitais

Segundo Takalo e Rouhiainen (2004) há algumas diferenças entre o nivelamento digital e o nivelamento convencional:

- Enquanto no nivelamento digital as leituras são automáticas, no nivelamento convencional as leituras são realizadas por operador que se utiliza de ferramentas ópticas, tais como o micrômetro e a placa plano-paralela.

- No nivelamento digital, o olho humano é substituído por uma câmera digital (CCD).

- No método convencional, a leitura da altura é efetuada utilizando apenas uma linha, enquanto o nível digital utiliza várias linhas de código. Com o advento da eletrônica, os equipamentos tornaram-se cada vez menores, mais leves e mais eficientes.

Um sistema para nivelamento digital é composto por um nível óptico, um compensador, uma escala, definida por código de barras, gravado em uma fita de invar fixada em uma mira de alumínio, uma câmera CCD e um programa para controle das operações, procedimentos e processos do nível digital (INGENSAND, 1999). O CCD, dispositivo de carga acoplada (*charge-coupled device*), é um sensor utilizado para captação de imagens. Hoje em dia são muito comuns, por exemplo, nas câmeras fotográficas digitais.

Este nível realiza a leitura da escala gravada no código de barras presente na mira que, por sua vez, fica armazenado no instrumento como sinal de referência. A câmera CCD captura uma imagem da parte superior e inferior do nível horizontal da escala que, posteriormente, é comparada com a escala armazenada na memória do instrumento. Após o processamento desta imagem, o programa fornece a posição vertical (INGENSAND, 1999; TAKALO; ROUHIAINEN, 2004).

Durante a medição, a seção visível da mira no campo de visão é capturada pelo decodificador de linhas e interpretada como sinal de medição. Este é posteriormente comparado com o sinal de referência e, assim, é possível determinar a altura do plano horizontal definido pelo nível e o tamanho da visada (ANDOLFATO, 2010).

Uma das vantagens destes equipamentos reside na eliminação de erros de leitura e, ainda, com a automação na coleta e armazenamento de dados espera-se que os procedimentos manuais de nivelamento geométrico sejam completamente substituídos (RADCLIFFE, 1999).

O primeiro sistema (Wild NA2000), quase totalmente informatizado, foi lançado em 1990 (INGENSAND, 1999). Atualmente são vários os fabricantes atuantes neste mercado, entre eles a Leica, Trimble (Zeiss), Sokkia e Topcon. Isto representa uma gama de opções ao usuário, facilitando a escolha do equipamento a ser utilizado de acordo com a conveniência e exigência do trabalho.

A maioria dos métodos de medições geodésicas utiliza transferência de informação entre duas posições, como é o caso da determinação eletrônica de distância. Este conceito transferido para o processo de nivelamento proporciona a determinação da posição na escala vertical a partir da mira codificada (INGENSAND, 1999).

3. METODOLOGIA

Nesta seção será explicada a forma com que os dados foram coletados e também será apresentado o modelo matemático utilizado no processamento destes dados.

O local escolhido para a coleta de dados relativa ao experimento foi o corredor de acesso ao LAIG. Para materializar os pontos cujos desníveis foram determinados, utilizaram-se suportes fixos na parede ao final deste corredor (Figura 5). Nota-se na imagem o ponto 1 já ocupado pela mira.

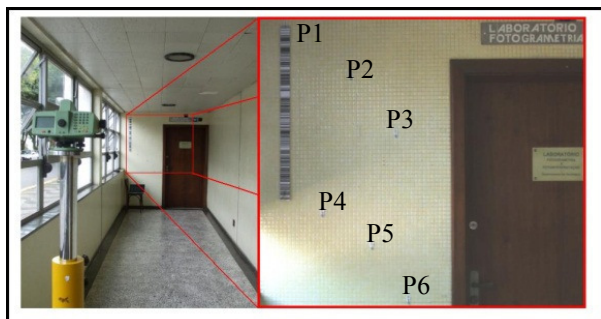


Figura 5 - Local do experimento
Fonte: O autor.

Primeiramente, para fins de validação do experimento a partir de comparação, os desníveis entre os pontos foram determinados de forma direta.

Para realização das leituras nos pontos fixados na parede, utilizou-se uma mira confeccionada com material PVC (mais leve que a convencional) o que permitiu que os ganchos fixados na parede suportassem seu peso. Tal mira foi utilizada em pesquisas realizadas anteriormente neste laboratório. Para maiores conhecimentos sobre este tipo de mira, recomenda-se Andolfato (2010).

O nível foi instalado de forma equidistante entre os pontos cuja mira de PVC foi posicionada e outra mira convencional utilizada como visada de ré (apoiada sobre o piso), para fins de referência de nível, conforme Figura 6.

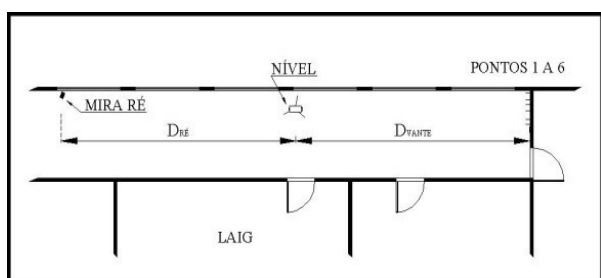


Figura 6 - Croqui do nivelamento direto
Fonte: O autor

Então, efetuaram-se os cálculos do desnível de cada ponto na parede em relação à mira convencional (referência de nível), utilizando o nivelamento geométrico, que determina o desnível subtraindo o valor da leitura de ré do valor da leitura de vante ($\Delta h = \text{Ré} - \text{Vante}$). Assim, obteve-se o que se pode chamar de cota de cada ponto.

De posse do valor dessas cotas, realizou-se o cálculo do desnível relativo a cada uma delas, através da Eq. 1. Desta forma, obtiveram-se os desníveis entre as cotas que foram utilizados como referência no decorrer deste trabalho.

$$\Delta h_{P(n-1)-P(n)} = \text{cota } P(n) - \text{cota } P(n-1) \quad (1)$$

sendo $n=1,2,\dots,6$

De posse destes dados, partiu-se para a determinação dos mesmos desníveis a partir da utilização do espelho, como forma indireta de nivelamento.

Esta etapa consistiu em dois procedimentos distintos. O primeiro deu-se com o reposicionamento da mira convencional de ré (utilizada como referência de nível) e o nível (Figura 7).

Como a ideia era que o nível fosse situado em local onde não se permitisse a visada direta dos pontos, a mira foi deslocada conforme se verifica nas Figura 7 e Figura 8.

Na Figura 7 é possível perceber a primeira configuração ajustada para determinar de forma direta o desnível entre a mira de ré e um ponto P1. Isto é necessário para calcular o ângulo de inclinação α do espelho, ou seja, o ângulo formado pelo raio refletido e o plano horizontal, quando o espelho é inclinado para fornecer a imagem do ponto ao operador do nível.

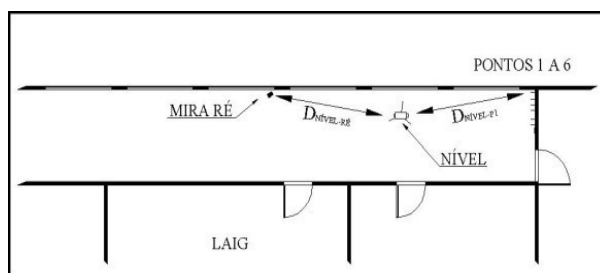


Figura 7 - Determinação do desnível inicial Ré-P1
Fonte: O autor

Calculado o valor do desnível de P1 pela diferença entre a leitura de ré e vante, a outra configuração foi ajustada a fim de que o nível fosse reposicionado para realizar as leituras indiretas em P1 até P6, por meio da imagem refletida pelo espelho, conforme se observa na (Figura 8).

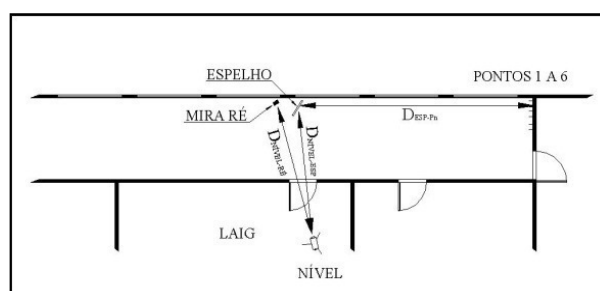


Figura 8 - Determinação indireta de desníveis
Fonte: O autor

No momento de instalação do nível, é necessário que o fio médio do nível coincida com o eixo horizontal do espelho, ou seja, seu eixo de inclinação. Este cuidado deve ser tomado para que o ângulo de inclinação α seja corretamente calculado. Este ângulo é formado pela distância entre o ponto refletido e o plano horizontal, que

somente será corretamente projetado se houver tal coincidência (Figura 9).

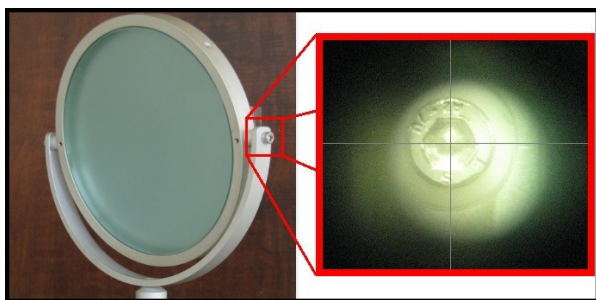


Figura 9 – Fio médio do nível coincidindo com o eixo de inclinação do espelho
Fonte: O autor

Isto é possível ajustando-se, de forma aproximada, com movimentos verticais, a altura da base do tripé onde o nível é instalado. Em seguida, utilizando os parafusos calantes, realiza-se o ajuste fino da posição vertical do nível.

Finalizado este procedimento, partiu-se para a determinação da inclinação do espelho. Conhecendo-se o valor do desnível Ré-P1 e aplicando o princípio da retificação de níveis, calculou-se a leitura esperada em P1, conforme Eq. 2:

$$LE_1 = L_{ré} - \Delta h_{mira-P1} \quad (2)$$

Onde:

LE_1 é a leitura esperada da imagem refletida se estivesse no plano horizontal

$L_{ré}$ é a leitura realizada na mira de ré.

$\Delta h_{mira-P1}$ é o desnível entre o ponto P_1 e a mira de ré, determinado pelo método direto.

De posse dos valores da leitura esperada (LE_1), leitura realizada (LR_1) e distância espelho-ponto (d_{esp-P1}), foi possível calcular a inclinação α (Eq. 3) do espelho (Figura 10):

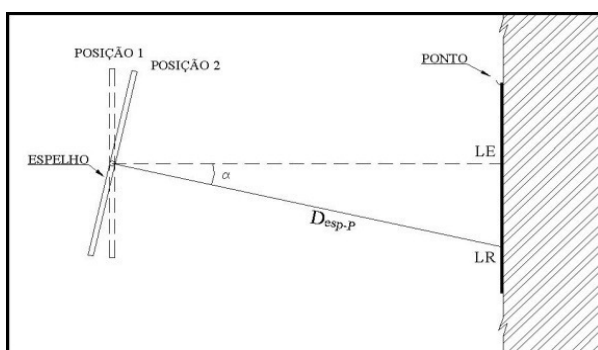


Figura 10 – Cálculo da inclinação do espelho

Fonte: O autor

$$\alpha = \arcsin (LR_1 - LE_1) / d_{esp-P1} \quad (3)$$

Em seguida, mantendo-se a mesma inclinação do espelho, realizou-se a leitura no ponto 2. Então, com o valor da leitura realizada em P2 (LR_2) e a distância

espelho-P2, calculou-se o valor da leitura esperada em P2 (Eq. 4 e Eq. 5).

$$\Delta L_{P2} = d_{esp-P2} \cdot \sin (\alpha) \quad (4)$$

$$LE_2 = LR_2 - \Delta L_{P2} \quad (5)$$

Foram calculados os desníveis P1-P2 e Ré-P2 utilizando as equações Eq. 6 e Eq. 7 respectivamente:

$$\Delta H_{P1-P2} = LE_1 - LE_2 \quad (6)$$

$$\Delta H_{Ré-P2} = \Delta h_{mira-P1} - LE_2 \quad (7)$$

Repetiu-se o procedimento para todas as leituras possíveis com a mesma inclinação do espelho em relação a P1.

Para avistar todos os pontos, houve necessidade de alterar a inclinação e rotação do espelho. Para o cálculo da nova inclinação é necessário um ponto comum nas duas leituras. Os desníveis entre os pontos visados foram calculados de forma análoga à mostrada nas Eqs. 2 a 5.

4. RESULTADOS

Várias posições foram ocupadas com o nível e com o espelho a fim de obter um número elevado de observações. A seguir, na Tabela 1, são apresentadas as 6 séries de observações com as respectivas distâncias entre o nível e o espelho e entre o espelho e os pontos fixos na parede, observados de forma indireta.

Tabela 1 - Distâncias utilizadas nos levantamentos.

Série	Dist. Nível - Espelho (m)	Dist. Espelho - Pontos (m)
1	3,82	2,16
2	7,67	2,37
3	2,00	3,44
4	1,93	3,42
5	6,40	24,35
6	4,43	14,16

As séries 1 a 4 apresentaram resultados muito divergentes daqueles obtidos pelo método direto de nivelamento. Isto ocorreu porque as observações destes pontos aconteceram depois de inclinar e/ou rotacionar o espelho.

Conforme explicado na metodologia, o modelo matemático adotado apoiou-se somente na questão da inclinação, ou seja, no movimento do espelho em relação ao plano horizontal.

Num primeiro momento, a rotação em torno do eixo vertical não deveria influenciar nos resultados, porque não interfere no ângulo de inclinação.

Neste sentido, surgiram questionamentos sobre a forma de se modelar e compensar a inclinação do espelho. Decidiu-se, então, utilizar um número maior de pontos e gerar mais observações para entender como o processo todo se comporta. Para isso foram colocados pontos auxiliares (7 a 15) entre os pontos principais (1 a 6).

Na Figura 11 a seguir é apresentado um gráfico com as diferenças entre as cotas dos pontos, resultantes das observações diretas e indiretas.

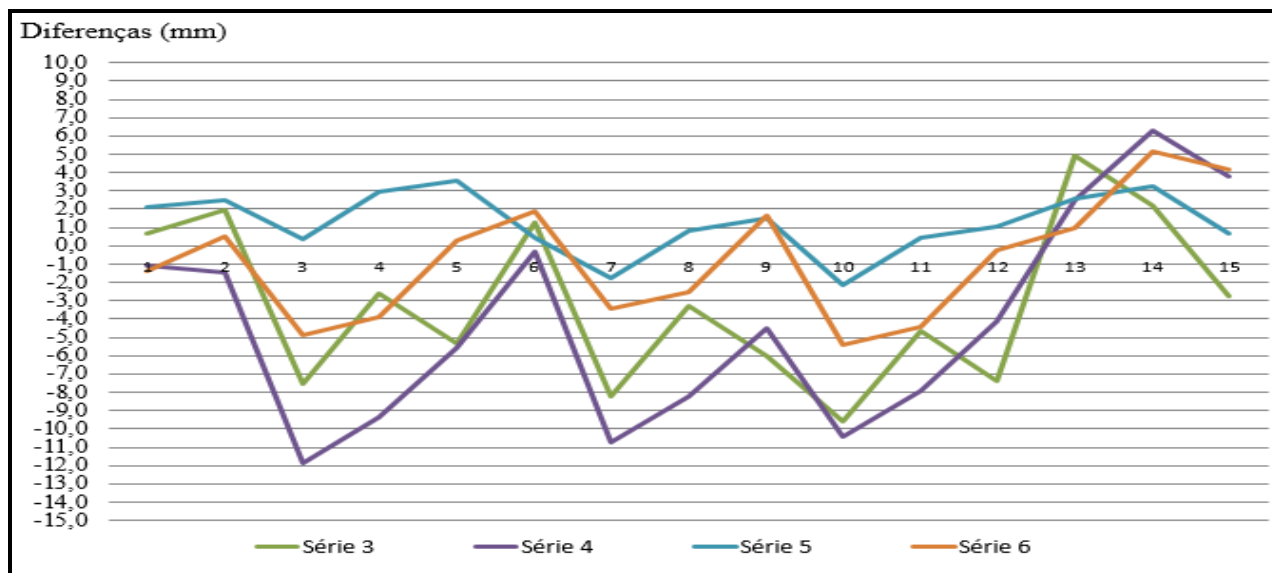


Figura 11 - Diferença entre os desníveis para cada série de leitura.
Fonte: O autor

Para o ponto 1, a diferença entre as cotas observadas de forma direta e indireta resultou em aproximadamente 1mm para as séries 3, 4 e 6 e aproximadamente 2mm para a série 5 (as séries referem-se aos posicionamentos de nível e espelho, conforme Tabela 1). O ponto 2 apresentou a maior diferença (pouco mais de 2mm) para as observações realizadas na série 5.

A partir do ponto 3 nota-se um comportamento desordenado de valores muito discrepantes das observações diretas. Na série 4 de observações indiretas, o ponto 3 apresentou divergência de -12mm e o ponto 14 divergiu em +6mm.

Assim, pode-se perceber uma amplitude de 18mm de diferença entre as cotas observadas direta e indiretamente para a série 4, cuja configuração de distâncias nível-espelho e espelho-pontos foi de 1,93m e 3,42m, respectivamente. Esta série apresentou a necessidade de inclinar e rotacionar diversas vezes o espelho de modo a avistar os pontos refletidos.

Já na série 5, cujas distâncias nível-espelho e espelho-pontos foram de 6,40m e 24,35m, respectivamente, uma gama maior de pontos pode ser avistada pelo observador, sem a necessidade de muitas rotações e inclinações.

De acordo com o gráfico, percebe-se que esta foi a série com menor amplitude de diferenças (5mm), com destaque para os piores casos percebidos no ponto 5, com diferença de pouco mais de 3mm e no ponto 7 com diferença de aproximadamente 2mm.

A série 6, cuja distância espelho-pontos foi de 14,16m, apesar do comportamento um pouco mais linear, teve amplitude de 10mm de diferença, verificado no

ponto 10 (diferença de -5mm) e no ponto 14 (diferença de +5mm).

As séries 1 e 2 foram suprimidas do gráfico porque apresentaram diferença entre cotas de até 44mm.

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Após analisar os valores resultantes das séries 1 e 2 constatou-se que existe uma variação também quando o espelho é girado sobre o eixo vertical e não somente quando é inclinado.

Aumentando a distância espelho-pontos não houve necessidade de realizar giro no espelho, o que demonstrou sensível melhora nos resultados obtidos, já que a diferença entre os desníveis foi reduzida para menos de quatro milímetros.

Conforme citado na revisão teórica, o espelho não se apresenta perfeitamente plano, apesar dos cuidados na sua fabricação. Tais imperfeições também podem ter contribuído para as discrepâncias apresentadas.

Conclui-se que a utilização de espelhos para nivelamentos de pontos com acessibilidade difícil é uma técnica promissora. Porém, considerando os resultados obtidos, verifica-se que ainda não é possível realizar nivelamentos de primeira ordem.

Por isso, recomenda-se sua utilização em trabalhos que exijam um rigor um pouco menor como na determinação de desníveis considerados de terceira ordem ou aqueles empregados na construção civil.

Recomenda-se a continuidade do assunto, realizando-se juntamente com o nivelamento, um estudo sobre a relação entre a variação da posição do espelho e

amplitude dos erros. Para isso, deve-se aliar a determinação da atitude do espelho em cada posição ocupada.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho tem a cooperação e suporte da Universidade Federal do Paraná, através do Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e do Departamento de Geomática, que colocam a disposição as instalações e equipamentos do Laboratório de Instrumentação Geodésica (LAIG).

O apoio financeiro para a realização dos estudos foi disponibilizado através de bolsa pelo CNPq.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDOLFATO, S. H. D. *Sistema de automação de níveis digitais*. Tese (Doutorado) – Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas – UFPR. Curitiba, 2010.
- CORDINI, J. *Determinação do erro cíclico em distanciômetros eletrônicos*. Curitiba, 1991. 138p. Dissertação (Mestrado) – Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Universidade Federal do Paraná.
- FAGGION, P. L. *Contribuição para a Implantação de um Sistema de Aferição de Miras na Universidade Federal do Paraná*. Curitiba, 1993 (Dissertação de Mestrado). Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Universidade Federal do Paraná.
- GONÇALVES, M. L. A. M. *Determinação indireta de coordenadas planorretangulares utilizando estação total e espelho plano*. Boletim de Ciências Geodésicas, Curitiba, v. 16, no 4, p.491-502, out-dez, 2010.
- GONÇALVES, M. L. A. M. *Determinação indireta de coordenadas topográfica utilizando estação total e espelho*. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas – UFPR. Curitiba, 2009.
- HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. *Fundamentos de Física - Óptica e Física Moderna*, 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2003.
- INGENSAND, H. *The evolution of digital levelling techniques - limitations and new solutions*. In Lilje M (ed.): The importance of heights. FIG, Gävle, Sweden: 59-68. 1999.
- LEICA. *Informe Técnico de los niveles digitales NA2002 e NA3003*. Informe Técnico, Leica, 2003.
- RADCLIFFE, D. *Feature: How digital levels work*. Professional Surveyor, Volume 19, Number 5, June 1999.
- TAKALO, M., ROUHIAINEN, P. *Development of a System Calibration Comparator for Digital Levels in Finland*. Nordic Journal of Surveying and Real Estate Research, Vol. 1. 2004.

Aplicação de GEOBIA para classificação da cobertura da terra no Parque Nacional do Itatiaia

GEOBIA application for land cover classification in Itatiaia National Park

Igor Vieira Vargas Colares¹
Marlon Thiago de Oliveira Nunes¹
Gustavo Mota de Sousa²
Manoel do Couto Fernandes¹

¹Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ
Av. Athos da Silveira Ramos, CCMN, Cidade Universitária – Rio de Janeiro–RJ – 21941-590
igorcolares@ufrj.br, marlon.nunes11@gmail.com, manoel.fernandes@ufrj.br

²Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – UFRRJ
Departamento de Geociências, Instituto de Agronomia – IA
BR-465, Km 7, Seropédica, RJ – 23890-000
gustavoms@ufrj.br

RESUMO – O Parque Nacional do Itatiaia é a primeira Unidade de Conservação do Brasil e faz parte do bioma Mata Atlântica e do Mosaico de Unidades de Conservação da Serra da Mantiqueira. O objetivo do estudo é a elaboração de um mapa de cobertura da terra através da Análise de imagens baseada em objetos geográficos – GEOBIA utilizando o *software* de código aberto InterIMAGE. A metodologia utilizou uma imagem AVNIR-2/ALOS e Modelo Digital de Elevação – DEM e realizou a classificação através de dois projetos elaborados em conjunto. As classes foram identificadas como auxílio de uma rede semântica que utilizou operadores baseados no Índice de Vegetação da Diferença Normalizada – NDVI; segmentadores Baatz e crescimento de regiões. Os resultados foram observados através da construção de uma matriz de confusão que indicou o índice kappa de 0.76; a exatidão global de 79% e; o índice de exatidão por classe que apontou diferenças de resultados entre 68,4% a 100%, mostrando uma heterogeneidade de respostas para cada classe. A classificação de modo geral teve bons resultados e é indicada para aplicação em outras Unidades de Conservação, a fim de fornecer subsídios para controle e monitoramento dessas áreas protegidas.

Palavras-chave: Análise de Imagens Orientada a Objeto, NDVI, Rede Semântica.

ABSTRACT – The Itatiaia National Park is the first of Brazil Conservation Unit and is part of the Atlantic Forest and the Mosaic of the Serra da Mantiqueira Protected Areas. The objective is the development of a land cover map by GEographic Objects-Based Image Analysis - GEOBIA using the open source software InterIMAGE. The methodology used a AVNIR-2/ALOS image and Digital Elevation Model - DEM and performed the classification through two projects jointly prepared. The classes were identified as aid of a semantic network that used operators based Normalized Difference Vegetation Index - NDVI; Baatz and region growing segmenters. The results were observed through the construction of a confusion matrix that indicated the kappa index of 0.76; the overall accuracy of 79% and; the accuracy index for class that showed differences in results between 68.4% and 100%, showing a diversity of responses for each class. The general classification had good results and is suitable for application in other protected areas in order to provide a basis for control and monitoring of these protected areas.

Keywords: Object-Based Image Analysis, NDVI, Semantic Net.

1. INTRODUÇÃO

O Parque Nacional do Itatiaia (PNI) foi a primeira Unidade de Conservação na categoria Parque com proteção integral criada no Brasil (Fig. 1). Instalada em junho de 1937 e tendo como uma de suas funções a preservação dos ecossistemas de grande relevância

ecológica e beleza cênica, possibilitando a realização de pesquisas científicas, realização de atividades educacionais e de interpretação ambiental, recreação e turismo ecológico, por meio do contato com a natureza (ICMBio, 2012).

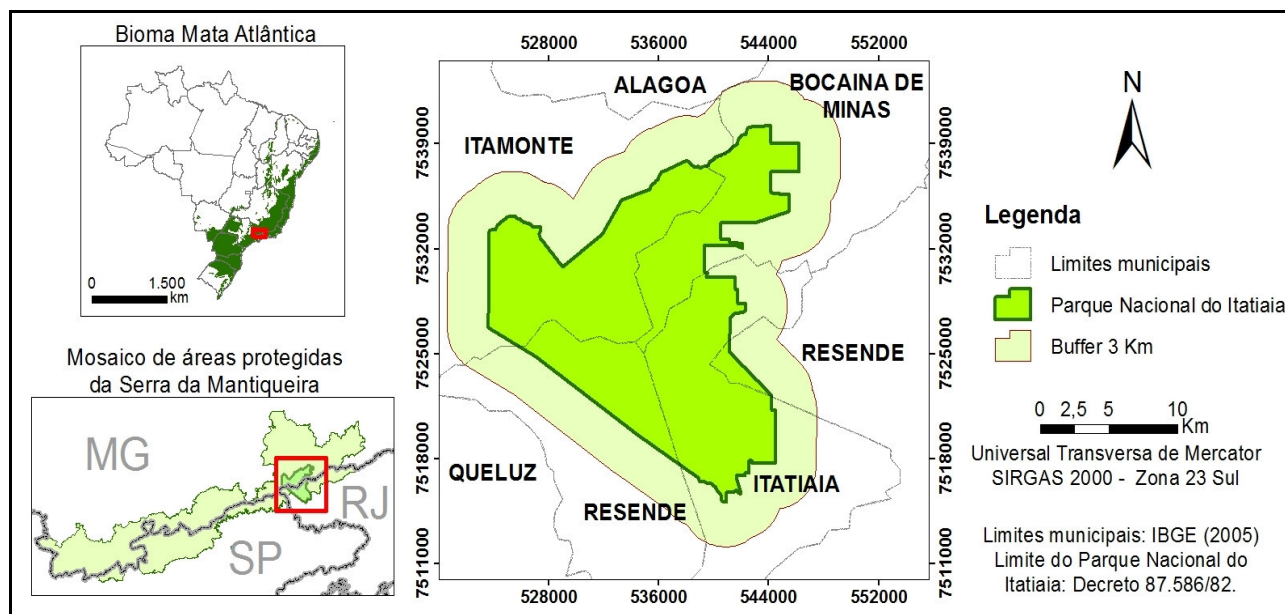


Figura 1 - Localização do Parque Nacional do Itatiaia.

Fonte: Adaptado de Tomzhinski (2012)

Devido a grande extensão da área do PNI que possui aproximadamente 30.000 ha além de desafios como incêndios florestais e desapropriações que ainda estão em curso, o monitoramento torna-se primordial. Neste sentido, o mapeamento da cobertura da terra realizado por meio do Sensoriamento Remoto é um produto de grande relevância no planejamento e gestão desta Unidade de Conservação (PINHEIRO; KUX, 2005).

A aquisição de dados por sensoriamento remoto e a diversidade de métodos para a interpretação de imagens que visam a produção de mapas temáticos para compreensão da paisagem, possibilitam o mapeamento de cobertura da terra, controle ambiental, pesquisas sobre vegetação (COSTA et al., 2008; SOUSA et al., 2012).

A distribuição gratuita de imagens de satélite iniciada pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE e a redução de custos através de acordos internacionais, como foi o caso do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE com subsídios para aquisição de imagens do satélite japonês ALOS, facilitaram na difusão das pesquisas em Sensoriamento Remoto no Brasil.

Além desses incentivos existem iniciativas de *softwares* livres e de código aberto que propiciam a elaboração de novas metodologias como é o caso da Análise baseada em objetos geográficos, da sigla em inglês GEOBIA (*Geographic Object-Based Image Analysis*) que é um paradigma que vêm se fortalecendo ao longo dos anos conforme é apontado por Blaschke et al. (2014).

A GEOBIA insere a participação do intérprete no processo de identificação de feições utilizando a interpretação visual e características existentes no objeto a ser classificado. Nesse processo podem ser utilizados modelos descritores que possuem o auxílio de dados espaciais diversos (SOUSA et al., 2012).

A técnica de GEOBIA tem se apresentado como a forma mais completa e integrada de se representar em

termos computacionais ao conhecimento de um especialista humano para a interpretação automática de imagens de Sensoriamento Remoto (NOVACK, 2009). Para Almeida (2010), esse tipo de análise permite a simulação da visão contextual de um intérprete humano por meio de múltiplos níveis de classificação interligados e redes semânticas.

Esse trabalho pretende realizar o mapeamento da cobertura da terra do PNI que possui diferentes classes que são identificadas por parâmetros espectrais e geomorfológicos que servem como indicativos de tipos de vegetação como a floresta Montana e alto Montana além dos campos de altitude.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para o mapeamento da cobertura da terra foi adotada uma metodologia que é apresentada na Fig. 2 na forma de um fluxograma metodológico. Através do fluxograma é possível verificar quais foram os materiais utilizados, os métodos aplicados e como foram alcançados os resultados.

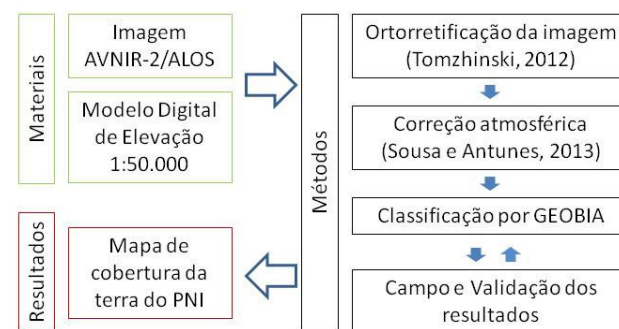


Figura 2 – Procedimentos metodológicos

Os dados utilizados foram uma imagem do sensor AVNIR-2 (Advanced Visible and Near Infrared Radiometer-type 2) transportado pelo satélite ALOS, que

produz imagens em quatro bandas espectrais (visível e infravermelho próximo) e resolução de 10m (Tab 1). A classificação também utilizou um modelo digital de elevação (MDE) e base cartográfica em escala 1:50.000.

A imagem selecionada para o estudo é datada de 17 de julho de 2009 (Fig. 3), e foi ortorretificada no *software* PCI Geomatics com a adoção do modelo *Toutin* (TOMZHINSKI, 2012). Além disso, a imagem ortorretificada passou por processo de correção atmosférica que foi realizada no modelo 6S seguindo os parâmetros adotados por Sousa e Antunes (2013).

Tabela 1 - Características AVNIR-2

Bandas Espectrais/Comp. de onda (microns)	1: 0.42-0.50 2: 0.52-0.60 3: 0.61-0.69 4: 0.76-0.89
Resolução Espacial	10 m (nadir)
Largura da Faixa	70 km (nadir)
Sinal/Ruído	> 200
Função de Transferência de Modulação	Bandas 1 ~ 3: >0.25 Banda 4: >0.20
Nº. de Detectores	7000 / banda
Limite de Inclinação Lateral de Visada	+/-44° (direita/esquerda)
Resolução Radiométrica	8 bits

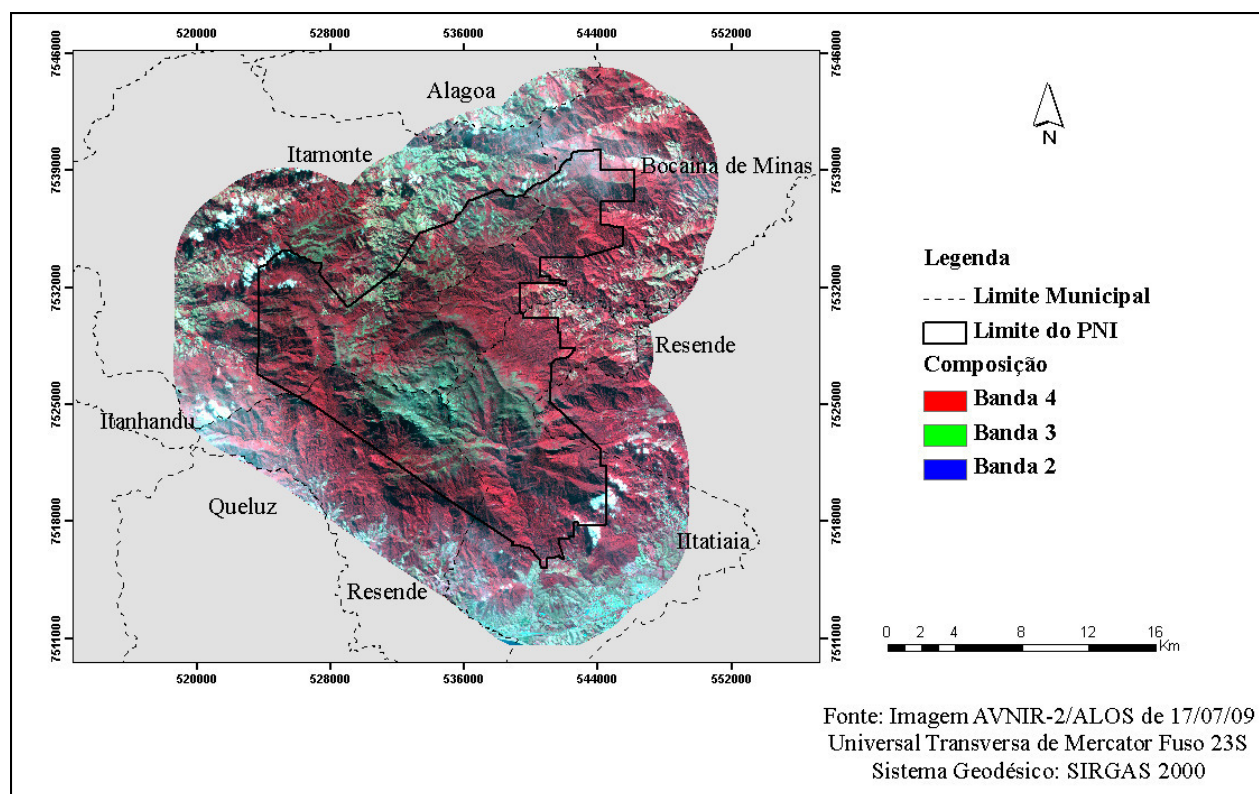


Figura 3 - Imagem da área de estudo com 5km de buffer.

A segmentação e classificação da imagem foram realizadas no InterIMAGE que é um *software* gratuito desenvolvido pelo Laboratório de Visão Computacional – LVC/PUC-Rio em conjunto com a Divisão de Processamento de Imagens – DPI/INPE e Divisão de Sensoriamento Remoto – DSR/INPE. O método de funcionamento do *software* pode ser observado na Fig. 4.

A entrada de dados no InterIMAGE se dá a partir da definição da rede semântica, em que a rede hierárquica (nó pai e nó filho) opera através do relacionamento entre as classes que vão desde uma classe geral até chegar a classes mais específicas. A inserção de dados podem ser

imagem, vetores (GIS) e Modelo Digital de Elevação (DEM). Em seguida, a classificação se divide no controle do sistema em duas etapas definidas por operadores e regras top-down e bottom-up. Os operadores *top-down* realizam a segmentação da imagem e geram hipóteses de objetos que foram identificados, e os operadores *bottom-up* confirmam (ou validam) tais hipóteses e concluem na classificação final. A saída indica mapas temáticos de diversas áreas do conhecimento ambiental que podem ser inseridas dentro da modelagem que o *software* oferece.

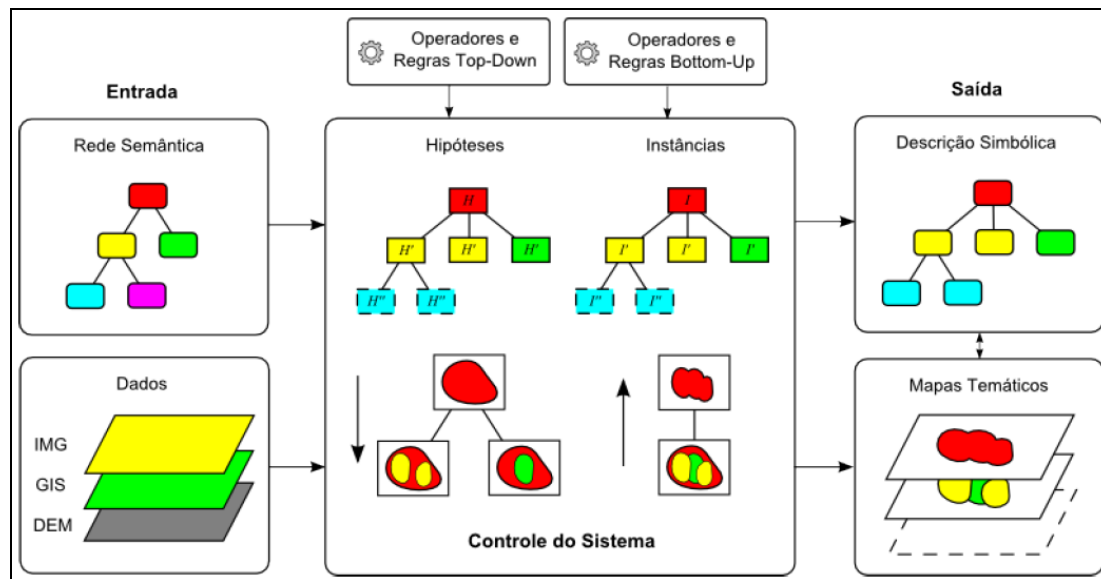


Figura 4 - Funcionamento do sistema InterIMAGE
Fonte - InterIMAGE (2002).

A classificação se deu na construção de dois projetos (Projeto 1 e Projeto 2) com o objetivo de otimizar os processamentos no software que demonstrou outra versatilidade que indica a possibilidade de elaboração de diferentes estratégias para a geração do modelo de conhecimento (Fig. 5). O Projeto 1 apresentou uma rede semântica com três classes gerais denominadas vegetação, não vegetação e sombra, sendo as duas primeiras com subdivisões.

As classes gerais de vegetação e não vegetação foram divididas por meio do operador de segmentação baseado no Índice NDVI (Índice de Vegetação da Diferença Normalizada) denominado *Terra Aida NDVI Segmenter*. Esse operador realiza a identificação das áreas verdes vegetadas pelo “verdor” das folhas através das bandas 3 (vermelho) e 4 (infravermelho próximo) da imagem AVNIR-2/ALOS. As áreas com valor de NDVI acima de 0.09 conseguiram identificar a vegetação existente na imagem e abaixo desse valor, as áreas foram denominadas como não vegetação.

A classe que identificou as áreas sombreadas na imagem realizou esta classificação por meio do operador de aritmética de bandas que é denominado por *Terra Aida Arithmetic*. Esse operador realizou a classificação de sombra através de limiares mínimo e máximo de 0 e 13, respectivamente, que foram adquiridos pela soma das quatro bandas do AVNIR-2/ALOS divididas por quatro, atingindo a média aritmética.

O nó referente à vegetação foi dividido em duas classes denominadas de floresta e campo através do segmentador baseado no NDVI, em que a primeira foi identificada pelo valor acima de 0.35. Essa divisão tornou visível as áreas de vegetação com características de porte mais alto (floresta) e mais baixa (campo). As áreas de floresta foram divididas em Alto Montana (acima de 1700 metros) e Montana através do DEM que apresenta a altimetria da área. A altitude em 1700 metros é baseada nos estudos de Brade (1956) que percebeu a transição

entre esses dois tipos de floresta ombrófila densa dentro da área do PNI.

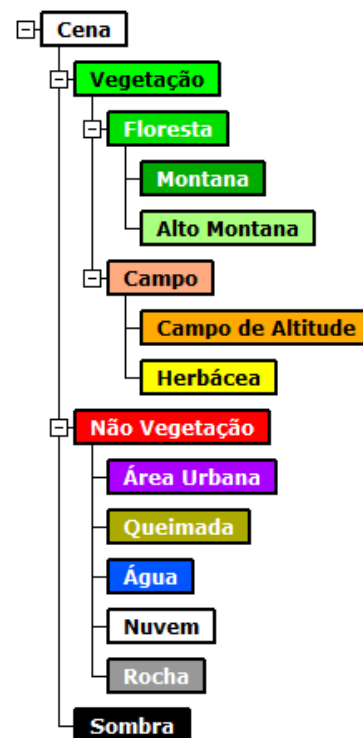


Figura 5 - Rede semântica elaborada para o estudo

A altitude também foi determinante para dividir as classes de vegetação denominadas: Campo de Altitude e Herbácea. As áreas acima de 2350 metros observados durante as idas à campo foram determinadas para campo de altitude e abaixo foram identificadas como herbácea. Nos casos de utilização da altitude observada pelo DEM com o objetivo da divisão de classes foi utilizado o operador de segmentação Baatz (*Terra Aida Baatz Segmenter*) com os seguintes parâmetros: escala 50;

compacidade 0.9, cor 0.8; distância euclidiana 20, conforme pode ser observado pela Tab. 2.

Tabela 2 - Operadores e atributos utilizados para a classificação

Classe	Dados	Operadores	Atributos/ Parâmetros
Vegetação	AVNIR-2	NDVI Segmenter	Limiar: 0.09
Floresta	AVNIR-2	NDVI Segmenter	Limiar: 0.35
Alto Montana	AVNIR-2; MDE	Baatz Segmenter	Escala: 50; DEM > 1700
Montana	AVNIR-2	Dummy Topdown	Não foi inserida nenhuma regra.
Campo de Altitude	AVNIR-2; MDE	Baatz Segmenter	Escala: 50; DEM > 2350
Campo	AVNIR-2	Dummy Topdown	Não foi inserida nenhuma regra.
Herbácea	AVNIR-2	Dummy Topdown	Não foi inserida nenhuma regra.
Não Vegetação	Shapefile	Shapefile Import	Nome do atributo
Água	AVNIR-2	Region Growing Segmenter	Média banda 4 < 23.386576
Área Urbana	AVNIR-2	Region Growing Segmenter	Banda 4 / Banda 3 < (média banda 4 - 16.819151)/99.1 46139; Brilho ≥ 76.780341
Nuvem	AVNIR-2	Dummy Topdown	Não foi inserida nenhuma regra.
Queimada	AVNIR-2	Region Growing Segmenter	Entropia banda 4 ≥ 3.593647; Brilho < 58.166002
Rocha	AVNIR-2	Baatz Segmenter	Escala: 20; DEM > 2000m; Brilho ≥ 44.370479; Razão banda 3 ≥ 0,244658; Entropia MDE ≥ (média banda 4 - 35.128227) / - 1.143965)
Sombra	AVNIR-2	Arithmetic	Média aritmetica das 4 bandas e limiar entre 0 e 13

O projeto 2 inicia-se a partir da importação do resultado de não vegetação extraído do projeto 1 em vetor. A rede semântica do projeto 2 foi dividida nas classes de área urbana, queimada, nuvem, rocha e água conforme se verifica na Fig. 4. Para este projeto foi usado os operadores de segmentação Baatz e crescimento de regiões (*Terra Aida Region Growing*) conforme é observado na Tab. 2. A classe rocha utilizou o operador Baatz, com atributos de brilho, média da banda 4 e entropia do DEM. Para a classe água usou-se o segmentador de crescimento de regiões com atributos de brilho e média da banda 4, que foram associados através

de um gráfico de dispersão (*Scatter Plot*), para identificação de água.

O gráfico de dispersão está disponível no módulo *Analysis Manager* existente no InterIMAGE que possibilitou o uso de atributos como média de bandas, entropia, brilho e outras operações booleanas que indicaram a separação das classes que possibilitaram um refinamento visual. Esses atributos foram extraídos das bandas da imagem AVNIR-2 e propiciaram a simulação de diversas condições de classificação.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A classificação da cobertura da terra realizada no InterIMAGE resultou no mapa temático que pode ser observado na Fig. 5 e os relacionamentos entre as classes podem ser verificados na Tab. 3. A realização da classificação em dois projetos propiciou uma separação visual satisfatória das classes de cobertura da terra existentes na imagem AVNIR-2/ALOS.

A divisão entre as áreas de vegetação e não vegetação através do segmentador baseado no NDVI indicaram resultados iniciais importantes para o processo de classificação que agilizaram a identificação das classes mais específicas que foram apresentadas no mapa final.

O processo de divisão de classes mais generalizadas para classes mais específicas com o auxílio da rede semântica, seguindo o padrão de hereditariedade, trouxeram um refinamento ao conhecimento de geração de cada classe de cobertura da terra seguindo uma metodologia mais didática e cuidadosa.

As classes referentes às áreas de vegetação tiveram o auxílio do operador Baatz com atributo de altitude, obtido por meio do DEM que buscou indicar as áreas de transição entre a “floresta ombrófila densa montana” e a “floresta ombrófila densa alto montana” seguindo a proposta de Brade (1956). Essa divisão foi mais complexa se comparada ao uso da altitude para identificar as áreas de “campo de altitude” e “vegetação herbácea” sendo que, neste caso, são áreas que não possuem muita proximidade se verificarmos as partes baixa e alta do PNI.

As áreas não vegetadas que foram inseridas no projeto 2 se apresentam como de maior complexidade conforme se observou na Tab. 2, em que os atributos utilizados necessitaram de combinação com o auxílio de um gráfico de dispersão para identificação das classes de água, rocha, nuvem, área urbana e queimada.

A classe de sombra foi identificada a partir da utilização do operador Aritmético em que foi inserida a média aritmética das quatro bandas do sensor AVNIR-2 através de um limiar mínimo e máximo que resultou na extração dessas áreas.

A matriz de confusão apresentada na Tab. 3 propiciou a construção dos índices *Kappa* e de exatidão global que resultaram em 0.76 e 79%, respectivamente. A elaboração da matriz de confusão se deu através do auxílio de um fotointérprete que identificou manualmente um conjunto de amostras com base na imagem AVNIR-2 e em experiências de campo.

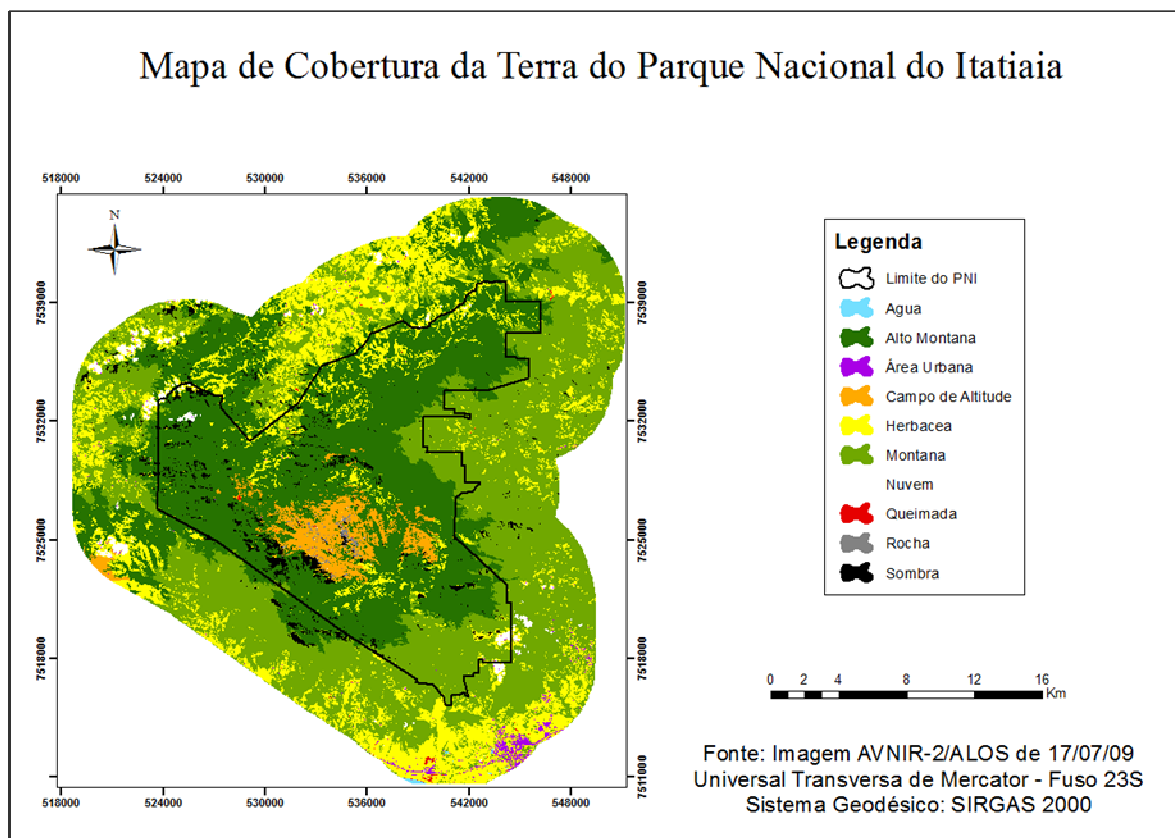


Figura 5 - Resultado da Classificação.

Tabela 3 - Matriz de confusão

Fotointérprete	Queimada	Área Urbana	Montana	Alto Montana	Herbácea	Sombra	Campo de Altitude	Nuvem	Rocha	Água
Classificação										
Queimada	6	0	0	0	4	0	0	0	0	0
Área Urbana	1	27	0	0	2	0	0	0	0	0
Montana	0	0	20	12	3	0	0	0	0	0
Alto Montana	0	0	1	26	1	3	0	0	0	0
Herbácea	0	4	0	0	36	2	0	4	1	0
Sombra	0	0	0	0	5	42	0	0	1	0
Campo de Altitude	0	0	0	0	2	4	27	0	4	0
Nuvem	0	0	0	0	3	0	3	42	0	0
Rocha	0	1	0	0	0	0	7	0	26	0
Água	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7
Exatidão por classe (%)	85,7	84,4	95,2	68,4	75,0	82,3	79,4	91,3	83,9	100

A matriz de confusão (Tab. 3) indica os acertos na classificação e a confusão apresentada entre algumas classes que são observadas além do índice Kappa registrado com o valor de 0,76, considerado muito bom por Landis e Koch (1977) e, a exatidão global de 79%.

Os resultados de exatidão por classe verificados na Tab. 3 apontam excelente classificação para a classe água (100%) que não apresentou confusão com nenhuma outra classe. Esse fato ocorreu devido a facilidade de detecção de grandes corpos d'água localizados na Represa do Funil, próximos à Rodovia Presidente Dutra. A disposição desse alvo facilitou o uso da média da banda 4 (infravermelho próximo) para identificação, mesmo sendo uma classe pertencente à áreas não vegetadas.

A utilização do DEM como parâmetro de separação de classes em conjunto com o NDVI foi importante para as áreas de floresta e campo. No caso de floresta Montana e alto Montana, esse parâmetro indicou melhor resultado para a primeira que atingiu a exatidão de 95,2. Já em relação a classe de alto Montana, o resultado se mostrou diferente demonstrando confusão com Montana em algumas áreas e apresentando a exatidão por classe em 68,4%, a menor registrada entre todas as classes. A vegetação de campo de altitude e herbácea mostraram resultados de exatidão semelhantes de 79,4 e 75%, respectivamente.

As classes de rocha e campo de altitude indicaram exatidão de 83,9% e 79,4% respectivamente e, apresentaram confusão por se localizarem na Parte Alta do PNI em que são predominantes. Apesar do uso do NDVI para identificação da vegetação de campo de altitude, a classe de rocha apresentou melhor resultado na comparação.

As áreas urbanas apresentaram confusão com as classes de vegetação herbácea e rocha que possuem características realmente semelhantes espectralmente além de proximidade espacial na Parte Baixa do PNI em

que está localizada a Rodovia Presidente Dutra e as quadras da área urbana do município de Itaitiaia.

As classes de sombra apresentaram confusão com outras classes que estavam representadas próximas, ou que possuem alguma representatividade espectral como é o caso de áreas de floresta alto montana e de campo de altitude que são localizadas em área com grande declividade registradas por áreas sombreadas. Além da classe de sombra, é importante ressaltar que as áreas com nuvem durante o registro da imagem do AVNIR-2 poderão ser incorporadas por meio de outra passagem do sensor que irão facilitar a classificação, apesar do excelente resultado de 91,3% de exatidão por classe.

4. CONCLUSÕES

A classificação de cobertura da terra realizada por GEOBIA com o auxílio do software InterIMAGE apresentou resultados promissores. Para a definição de vegetação mostrou-se resultados satisfatórios, podendo melhorar-los mais, pois o segmentador baseado no NDVI, se mostrou eficaz mas indicou a necessidade de outros parâmetros. Os conflitos observados entre as classes de áreas vegetadas podem ser refinados com outros ajustes e inserção de outras variáveis ambientais.

A classificação de modo geral teve um bom resultado, podendo esse tipo de estudo ser aplicado para outras Unidades de Conservação, a fim de fornecer subsídios para controle e monitoramento dessas áreas protegidas.

Em trabalhos futuros pretende-se ampliar a abordagem com imagens de média resolução disponíveis dos sensor OLI/Landsat 8 e dados RapidEye, com alta resolução espacial, já adquiridos pelo PNI através do Ministério do Meio Ambiente.

Além disso, é importante ressaltar que o software InterIMAGE encontra-se em desenvolvimento para novos

desafios e parcerias que visam diferentes temáticas ambientais.

AGRADECIMENTOS

Ao Parque Nacional do Itatiaia pelo apoio aos trabalhos de campo e ao CNPQ e FAPERJ pelo financiamento e apoio a pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, C. M. Aplicação dos sistemas de sensoriamento remoto por imagens e o planejamento urbano e regional. *Arq.Urb. – Revista Eletrônica de Arquitetura e Urbanismo (USJT)*, V.3, p.98-123, 2010..
- BLASCHKE, T.; HAY, G. J.; KELLY, M.; LANG, S.; HOFMANN, P.; ADDINK, E.; FEITOSA, R.Q.; MEER, F.V.D.; WERFF, H.V.D.; COILLIE, F.V.; TIEDE, D. Geographic Object-Based Image Analysis – Towards a new paradigm. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 87, p. 180-191, 2014.
- BRADÉ, A. C. A flora do Parque Nacional do Itatiaia. *Boletim do Parque Nacional do Itatiaia*, Nº 5, 114p., 1956.
- COSTA, G.A.O.P.; PINHO, C.M.D.; FEITOSA, R.Q.; ALMEIDA, C.M.; KUX, H.J.H.; FONSECA, L.M.G.; OLIVEIRA, D., 2008. InterIMAGE: Uma plataforma cognitiva open source para a interpretação automática de imagens digitais. *Revista Brasileira de Cartografia – RBC*, nº 60/4, p.331-337, 2008.
- ICMBIO – Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade Disponível em <<http://www.icmbio.gov.br>> - acesso em 09-11-2012
- LANDIS, J. R.; KOCH, G. G. The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics*, v. 33, n. 1, p. 159-174, 1977.
- NOVACK, T. *Classificação da cobertura da terra e do uso do solo urbano utilizando o sistema InterIMAGE e imagens do sensor Quickbird*. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 214 p., 2009.
- PINHEIRO, E. S., KUX, H. J. H. Imagens Quickbird aplicadas ao mapeamento do uso e cobertura da terra do Centro de Pesquisas e Conservação da Natureza Pró-Mata. In: BLASCHKE, T.; KUX, H. (Org.). *Sensoriamento remoto e SIG avançados – Novos sistemas sensores métodos inovadores*. São Paulo. Oficina de Textos, p..263-281, 2005.
- SOUSA, G. M.; ANTUNES, M. A. H. Correção atmosférica de imagens AVNIR-2/ALOS com o modelo 6S no Parque Nacional do Itatiaia. Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 16. (SBSR), 2013, Foz do Iguaçu. *Anais...* São José dos Campos: INPE p. 1885-1892, 2013.
- SOUSA, G. M.; SANTOS, F. V.; FERNANDES, M. C. Mapeamento da cobertura da terra da APA Petrópolis/RJ utilizando análise baseada em objeto no sistema InterIMAGE. In.: *Revista Brasileira de Cartografia – RBC*, nº 64/4, p. 517-530, 2012.
- TOMZHINSKI, G.W. *Análise Geoecológica dos Incêndios Florestais no Parque Nacional do Itatiaia*. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós Graduação em Geografia – PPGG/UFRJ. 137 f., 2012.

Análise do efeito corona gerado por redes elétricas de alta tensão sobre o posicionamento relativo com GNSS

Analysis of Corona noise caused by high voltage electric lines on the relative GNSS positioning

Fernando Luis Hillebrand¹
Gelson Lauro Dal' Forno¹

¹Universidade Federal de Santa Maria – UFSM
Programa de Pós-Graduação em Geomática
UFSM, Avenida Roraima, 1000, CEP 97105-900, Santa Maria, RS – Brasil.
fernandoluis@topographia.com.br, gelsmrs@hotmail.com

RESUMO – O propósito deste trabalho foi investigar a possibilidade de ocorrer erros no posicionamento devido ao multicaminhamento oriundo do efeito corona, gerado em linhas elétricas de alta tensão, na recepção de sinais GNSS. Foram realizados experimentos nas proximidades de uma rede elétrica com tensão de 69 kV onde implantou-se uma série de onze pontos transversais ao alinhamento longitudinal da linha de transmissão e realizadas avaliações da interferência no posicionamento pelo método relativo estático com receptor GNSS de dupla frequência. Para avaliar a interferência na estimativa das coordenadas dos pontos foi necessário obter as coordenadas geodésicas desses pontos sem possibilidades de multicaminhamento pelo efeito corona. Para isto, implantou-se uma poligonal topográfica enquadrada cujas estações de apoio estão 130 m distantes da linha de transmissão. Realizadas as análises estatísticas concluiu-se que para os métodos de levantamento e os equipamentos geodésicos utilizados neste experimento, em uma linha de transmissão de 69 kV, as discrepâncias constatadas ficaram dentro do desvio-padrão.

Palavras-chave: poligonal topográfica; receptores GNSS; rede elétrica; efeito corona; multicaminhamento dos sinais GNSS.

ABSTRACT – The purpose of this work was to investigate the possibility of errors in positioning caused by the multipath coming from the corona noise, generated in high-voltage electric lines, in GNSS signals reception. Experiments were performed near a 69 kV tension electric line where it was established a series of eleven transverse points to the longitudinal alignment of the transmission line and accomplished evaluations of positioning interference in the static relative method with a dual frequency GNSS receiver. To evaluate the interference in the coordinates estimation it was necessary to obtain the geodetic coordinates of these points without the possibility of multipath by corona noise. For this, it was established a square topographical polygonal whose support stations was 130 meters far from the transmission line. Performed the statistical analysis it was concluded that for the methods of mapping and the geodetic equipment used in this experiment, in a 69 kV transmission line, the discrepancies found were within the standard deviation.

Keywords: topographical polygonal; GNSS receivers; electric lines; corona noise; GNSS signal multipath.

1. INTRODUÇÃO

O princípio básico do posicionamento pelo GNSS (*Global Navigation Satellite System*) é a medida das distâncias entre o receptor e, no mínimo, quatro satélites através do emprego das ondas eletromagnéticas transmitidas, sendo esta informação obtida essencialmente pelo intervalo de tempo da propagação do sinal. Segundo Monico (2008) e Hofmann-Wellenhof (2001), conhecendo as coordenadas dos satélites em um sistema de referência apropriado é possível calcular as coordenadas da antena do usuário no mesmo sistema de referência.

As observações GNSS, tal como outras variáveis envolvidas nos processos de medidas, estão sujeitas a erros grosseiros, aleatórios e sistemáticos (MONICO, 2008).

Durante o percurso da onda eletromagnética entre o satélite e o receptor podem ocorrer interferências no sinal ocasionando consequentemente erros de posicionamento. As fontes de erros estão relacionadas ao meio de propagação do sinal do satélite ao receptor (HOFMANN-WELLENHOF, 2001). O multicaminhamento pode ser associado a duas fontes, podendo ser classificado como erro relacionado à propagação de sinal e erro relacionado a estação que consiste em algumas distorções, na realidade, efeitos geodinâmicos que devem ser corrigidos (MONICO, 2008).

Sousa (2005) relata que, no instante da transmissão e recepção dos sinais dos satélites GNSS podem ocorrer interferências não intencionais no percurso e que vem gerar erros sistemáticos. Bueno (2000) relata que estas interferências são mais preocupantes nos casos em que se

requer maior precisão relativa, em ambientes propícios ao multicaminhamento.

Para Wan e Ibrahim (2010) a radiação eletromagnética emitida pelas linhas de transmissão de alta tensão seria a causa mais provável de alguma inconsistência com o método de posicionamento por GNSS em levantamentos geodésicos realizados próximos a estas estruturas. O ruído elétrico gerado pela linha poderia causar erros tanto em cada um como em ambos, medição do tempo e fase do sinal, através da geração de um campo elétrico e de um campo magnético em volta dos fios de alta tensão.

Silva e Olsen (2002) descrevem o mecanismo do efeito corona no decorrer das linhas de transmissão como uma interferência eletromagnética gerada pela superfície condutora de energia, em frequências próximas ou acima de 50 a 60 Hz, ionizando o ar em torno da linha condutora. Portanto, o efeito corona é causado pelo campo elétrico gerado em torno da superfície condutora de energia, induzindo correntes impulsivas. *Pacific Gas and Electric* (2005) comparou o ambiente ionizado em torno dos cabos de alta tensão com a camada ionosférica encontrada na atmosfera. Veldhuizen e Rutgers (2000) citam três condições que devem ser encontradas para iniciar uma descarga corona: i) deve haver elétrons livres na área de interesse, ii) a intensidade do campo elétrico deve ser alta, e iii) o nível da desuniformidade do campo elétrico deve ser alto.

A EUPOS (2008) relata também das interferências não intencionais que podem ser originadas nas proximidades de linhas elétricas de alta potência e nos transformadores. Bueno (2000) relata que dentre as interferências que ocorrem preferencialmente na onda portadora L2 estão os cabos de alta voltagem a uma distância de até 10 m do receptor GNSS.

No *Earth Observation Magazine* (1995), a *NovAtel Communications Limited* afirmou que “As linhas de energia afetam primariamente a sessão de RF (Radiofrequência) de cada receptor GNSS e como cada fabricante tem diferentes métodos de proteção para tentar minimizar as interferências externas, cada receptor irá reagir diferentemente no ambiente”. Essa preocupação é oficialmente relatada no item 4.3.3. - Erros devido à escolha do ponto, do manual sobre procedimentos para mensurações, elaborado pelo *Department of Transportation of State New Jersey* (2012).

Dentre alguns critérios visando minimizar a degradação da precisão da estimativa das coordenadas utilizando observações GNSS está a seleção do local para o rastreo, conforme IBGE (2008), evitando locais próximos a linhas de transmissão de alta voltagem por representarem possíveis fontes de interferência para sinais GNSS.

Já Als Salman (2001) mostra um contraponto analisando se as linhas de energia de alta tensão de 380 kV causariam distúrbios aos dados GNSS observados e, consequentemente nos resultados do posicionamento. Logo, concluiu que não haveria risco de interferência do sinal para o posicionamento relativo estático rápido.

O presente estudo tem como objetivo mensurar, avaliar e discutir o erro de posicionamento planimétrico gerado pela interferência do efeito corona, devido ao campo eletromagnético das redes elétricas de alta tensão, nos levantamentos geodésicos que utilizam a recepção de sinais através de receptores GNSS de dupla frequência no modo relativo estático.

2. METODOLOGIA

2.1 Caracterização da área de estudo

As mensurações foram realizadas em uma área localizada às margens da Estrada Municipal Eduardo Duarte, Bairro Tomazetti, na zona urbana do Município de Santa Maria/RS, no dia 23 de Julho de 2011.

A rede elétrica utilizada nas avaliações experimentais está sob concessão da empresa AES Sul Distribuidora Gaúcha de Energia S.A. A linha apresenta uma tensão nominal de 69 KV e frequência de 60 Hz.

Para avaliação do possível erro no posicionamento planimétrico com receptores GNSS nas proximidades das redes elétricas de alta tensão, foram implantados onze pontos. Esses pontos estão distribuídos perpendicularmente ao eixo longitudinal da linha, com equidistância de 5 m, cobrindo uma região de 25 m para cada lado do eixo da linha, conforme ilustrado na figura 1.

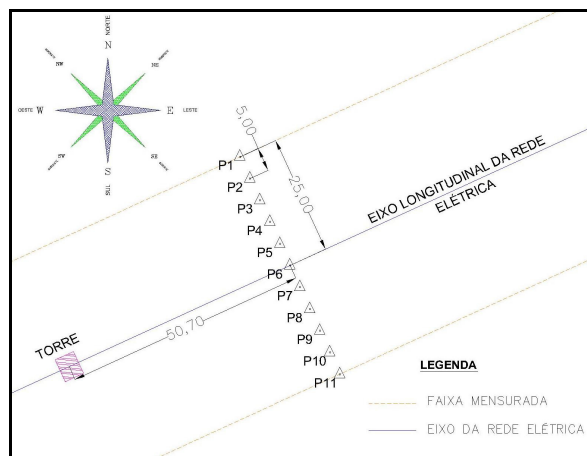


Figura 1 – Croqui de detalhamento dos pontos implantados abaixo da rede elétrica.

Implantados os pontos, era necessária a determinação das coordenadas planimétricas sem que houvesse a possibilidade da interferência do campo eletromagnético. Para isto foram implantados quatro estações de apoio imediato, situados a uma distância média de 130 m, minimizando a possibilidade de interferência das torres e dos condutores elétricos. A figura 2 apresenta o croqui da localização da rede elétrica, dos pontos e marcos de apoio da poligonal topográfica.

2.2 Determinação das coordenadas por GNSS das estações de apoio

O levantamento geodésico das estações foi através do posicionamento relativo estático com o receptor

previamente configurado para operar em uma taxa de aquisição igual a 5 segundos, PDOP (*Positional Dilution of Precision*) < 6, ângulo de elevação de 15°, tempo mínimo de permanência de uma hora por ponto. Foram utilizados dois receptores simultaneamente, sendo o primeiro rastreo nas estações de apoio de partida da poligonal e o segundo rastreo nas estações de apoio de chegada. Para o processamento e ajustamento geodésico foi considerada como base a Estação SMAR pertencente à RBMC, distanciada a 7,73 Km. Apoiado nestas estações implantou-se a poligonal topográfica enquadrada que serviu de apoio à determinação por irradiação das coordenadas planimétricas dos pontos situados sob a rede elétrica.

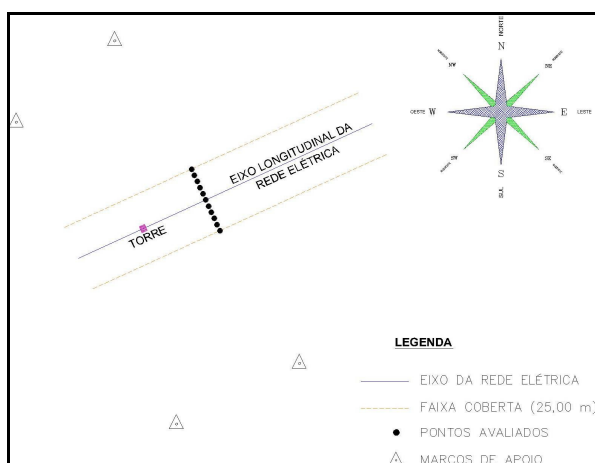


Figura 2 – Croqui de localização da rede elétrica, os pontos e os marcos de apoio.

2.3 Determinação das coordenadas por GNSS dos pontos situados nas proximidades da rede elétrica

Visando avaliar a interferência nos sinais GPS e GLONASS nas ondas portadoras L1/L2, fixou-se simultaneamente duas bases a 1,50 metros de altura e foram levantados os onze pontos que constituem a amostra pelo método de posicionamento relativo estático com dois receptores GNSS de dupla frequência modelo Hiper da marca comercial Topcon com precisão horizontal de 3 mm + 0,5 ppm e a vertical de 5 mm + 0,5 ppm. Este modelo possui a funcionalidade “*Advanced Multipath Mitigation*” que reduz os efeitos de multicaminhamento na recepção de sinais, estando ativado na ocasião do levantamento.

Com o software comercial Topcon Tools V. 7.1., foi realizado o processamento geodésico dos pontos com o nível de confiança de 68,27% considerando como base a estação SMAR, pertencente à RBMC. O comprimento médio das linhas de base ficou em 7,68 Km.

A partir dos dados coletados nos pontos realizaram-se seis simulações de tempos de observação para analisar a apresentação de solução fixa e a possível influência do tempo de rastreo na compensação da provável influência do campo eletromagnético. Os tempos de rastreo realizados foram: 1, 5, 15, 30, 45 e 60 min.

Como as coordenadas dos pontos obtidos pelo levantamento topográfico estão em sistema diferente das

obtidas pelo levantamento geodésico, não há a possibilidade da análise estatística. Assim, após o levantamento e o processamento geodésico dos pontos foi realizada a transformação dos dados que estavam no Sistema Geodésico Geocêntrico para o Sistema Geodésico Local (SGL). A transformação de coordenadas foi efetuada através de rotações e translações, na mesma escala, sendo as formulações matemáticas descritas por Andrade (1998), por Jakeli (2006) e ainda, por Monico (2008).

Conforme Dal’ Forno et al. (2009), o plano local topográfico (topografia) desconsidera a curvatura da terra e é perpendicular a vertical do lugar no ponto da superfície terrestre considerado como origem do levantamento. Na transformação de coordenadas do Sistema Geodésico Cartesiano Tridimensional para o Sistema Geodésico de Coordenadas Terrestre Local pelo método da rotação e translação, na mesma escala, não se observam os erros sistemáticos provenientes da desconsideração da curvatura terrestre e do desvio da vertical. Assim, esse plano também pode ser estabelecido em função da normal ao elipsoide. Para efetuar estas transformações empregou-se o software Transgeolocal v. 2.0.

2.4 Determinação das coordenadas com estação total dos pontos situados nas proximidades da rede elétrica

Com a finalidade de obter as coordenadas planimétricas dos pontos, o levantamento topográfico seguiu as seções 5 e 6 da NBR 13.133/94 – Execução de Levantamento Topográfico que tratam sobre as condições gerais e específicas dos levantamentos.

O equipamento utilizado foi a estação total Leica modelo TPS 805, com as características de apresentar, para medição angular no método absoluto contínuo, a resolução de 1" e desvio-padrão de 5" e, para a medição de distâncias com prisma o desvio-padrão é de 2 mm + 2 ppm no programa de medição EDM (*Electronic Distance Meter*).

Inicialmente foram implantados quatro marcos de concreto para dar apoio à partida e à chegada da poligonal topográfica enquadrada. Em sequência efetuou-se o levantamento geodésico com receptores GNSS, metodologia já descrita na seção 2.2, e aplicou-se o método de translações e rotações ao Sistema Geodésico Geocêntrico para transformá-lo no Sistema Geodésico Local.

Referenciado nas coordenadas do Sistema Geodésico Local, realizou-se o levantamento topográfico da poligonal enquadrada, sendo para a medição angular três séries de leituras conjugadas direta e inversa, horizontal e vertical e, para a medição linear foram realizadas leituras recíprocas de vante e ré. Após aplicou-se o ajustamento da poligonal pelo MMQ (Método dos Mínimos Quadrados), sendo utilizado o software TopoEVN 6.6.0.7 da empresa Métrica Tecnologia. Para a origem do sistema topográfico, considerou-se o marco M01 com as coordenadas x= 1.000 e y= 1.000, sendo a orientação azimutal base realizada no marco M02. Na

orientação azimutal de chegada se utilizaram os marcos M03 e M04, conforme a figura 3. A orientação azimutal utilizada é a geodésica. Segundo Dal' Forno et al. (2010), para que possa ocorrer a execução da transformação entre sistemas de coordenadas é imprescindível que o levantamento topográfico esteja orientado segundo o azimute geodésico da direção de dois pontos comuns aos dois tipos de levantamento.

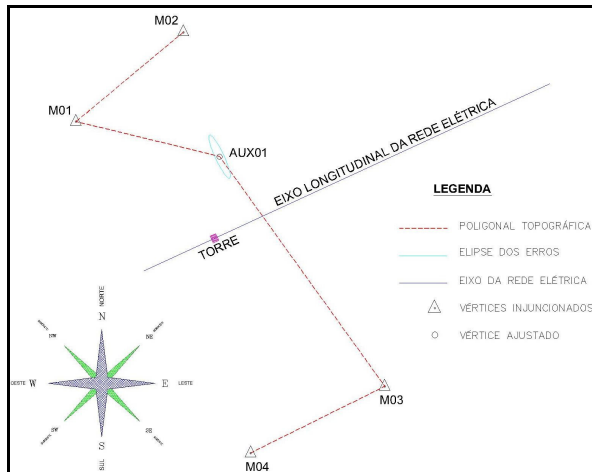


Figura 3 – Croqui da poligonal topográfica enquadrada representando a elipse dos erros do marco AUX01.

Após o ajuste da poligonal topográfica a estação AUX01 apresenta os seguintes desvios-padrão e orientação da elipse dos erros: semi-eixo maior = 0,005 m, semi-eixo menor = 0,001 m e ângulo crítico de 334°54'21,1", conforme ilustrado na figura 3. Esta estação foi utilizada para o levantamento topográfico por irradiação dos onze pontos situados sob a rede elétrica.

2.5 Mensuração do campo eletromagnético

Para a mensuração da influência do campo elétrico nos pontos situados próximos a rede de transmissão foi utilizado o medidor de campo eletromagnético modelo EM-8000, fabricado pela ICEL-Manaus. A partir dos dados levantados gerou-se um gráfico ilustrativo do comportamento do efeito corona, conforme a figura 4.

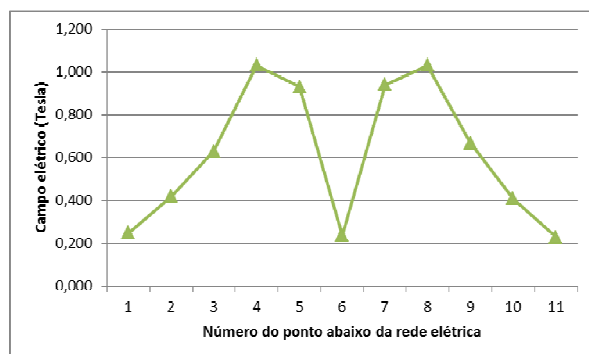


Figura 4 – Campo elétrico mensurado nos pontos localizados abaixo da rede de transmissão.

A amplitude gerada é representada transversalmente ao alinhamento da linha de transmissão. Observa-se que

no ponto 6 (eixo da rede) há um campo elétrico mínimo e conforme afasta-se, ocorre um acréscimo exponencial chegando ao máximo nos pontos 4 e 8 (10 metros distante do eixo) e na sequência ocorre o declínio chegando novamente em valores mínimos nos pontos 1 e 11 (25 metros distante do eixo).

Wan e Ibrahim (2010) avaliaram o comportamento do campo elétrico produzido por uma linha de transmissão de 275 kV e constataram, para pontos localizados perpendicularmente ao eixo central da linha de transmissão, influências mínimas do campo elétrico a partir de 30 m. No experimento verificou-se um comportamento similar pelo campo elétrico gerado na rede de transmissão.

2.6 Avaliação e análise estatística do erro de posicionamento

Para a avaliação do erro de posicionamento será calculado a precisão objetivando mensurar os erros aleatórios e a acurácia para dimensionar tanto os erros aleatórios quanto sistemáticos das coordenadas (x e y) obtidas por meio de receptores GNSS de dupla frequência nos pontos situados sob a rede de transmissão.

Conforme a NBR 13133/1994 (Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, 1994) precisão é o valor que expressa o grau de aderência das observações entre si. Este valor será obtido a partir da média dos desvios-padrão para as diferentes sessões de rastreamento.

$$\sigma_x = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (1)$$

Onde:

σ_x : representa a precisão média populacional (m);

σ : representa a média dos desvios-padrão amostral (m);

n : número de observações (sessões de rastreamento).

Para mensurar a acurácia dos dados será calculado o EMQ (Erro Médio Quadrático) entre as coordenadas topográficas e as coordenadas geodésicas transformadas ao SGL. Mikhail e Ackermann (1976 apud Monico et al., 2009) descrevem a acurácia como sendo o grau de proximidade de uma estimativa com seu parâmetro (ou valor verdadeiro). Para se obter o estimador da acurácia, foi aplicado a equação proposta por Gauss, dada por:

$$EMQ = \sigma_p^2 + (b)^2 \cong \sum_{i=1}^n \frac{\varepsilon_i^2}{n} \quad (2)$$

Onde:

σ_p^2 : representa a dispersão das medidas, também denominado variância (m);

b : representa a tendência ou vício do estimador (m);

ε : diferença entre o valor observado e o tomado como referência (m).

Após aplicar o EMQ e constatando tendência nos resultados obtidos, é necessária a averiguação se é significativa ou não. Para isto, será construído um intervalo de confiança para a média populacional sendo representado pela expressão (GEMAEL, 1994):

$$P\left(x - \frac{\sigma_x}{\sqrt{n}} z \leq \mu \leq x + \frac{\sigma_x}{\sqrt{n}} z\right) = 1 - \alpha \quad (3)$$

Onde:

x : média amostral (m);

μ : média populacional (m);

z : variável aleatória dentro da distribuição normal, considerando um determinado valor de α .

2.7 Análises estatísticas complementares

Para obter uma comparação adimensional das variáveis envolvidas, foi utilizado o coeficiente de correlação linear de Pearson (r) e o índice de concordância (c). As análises estatísticas foram realizadas entre as coordenadas oriundas do levantamento topográfico no SGL e o levantamento obtido com diferentes sessões de rastreamento pelo receptor GNSS de dupla frequência.

Conforme Costa Neto e Oliveira (2002) o coeficiente de correlação linear de Pearson tem a importante propriedade de ser adimensional e de variar entre -1 e +1. No caso de $r = -1$ tem-se um caso de correlação linear negativa perfeita e se $r = +1$ a correlação é linear positiva perfeita. Esse coeficiente permite avaliar o grau de associação entre os valores observados e os valores estimados. Ele é representado pela expressão:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (e_i - \bar{e})(o_i - \bar{o})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (e_i - \bar{e})^2 \cdot \sum_{i=1}^n (o_i - \bar{o})^2}} \quad (4)$$

Onde:

r : coeficiente de correlação linear de Pearson;

e_i : i -ésima coordenada proveniente do levantamento geodésico com receptor GNSS de dupla frequência (m);

$\bar{e}$: média das coordenadas provenientes do levantamento geodésico com receptor GNSS de dupla frequência (m);

o_i : i -ésima coordenada proveniente do levantamento topográfico (m);

$\bar{o}$: média das coordenadas provenientes do levantamento topográfico (m).

Segundo Willmont (1981) o índice de concordância idealiza a amplitude dos erros entre o modelo proposto (valores estimados) e o observado. Este índice varia de 0 a 1, sendo que quanto mais próximo de 1, menor a amplitude dos erros. Isto permite avaliar o grau de exatidão entre as variáveis envolvidas. O modelo é representado pela expressão:

$$c = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (e_i - o_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|e_i - o| + |o_i - o|)^2} \quad (5)$$

Onde:

c : índice de concordância.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Cálculos dos erros de posicionamento nas coordenadas mensuradas com receptor GNSS de dupla frequência

No processamento e ajustamento das coordenadas geodésicas mensuradas pelos receptores GNSS de dupla frequência nos pontos situados sob a rede de transmissão, todos os resultados apresentaram solução fixa para os diferentes pontos e sessões de rastreamento.

Nas tabelas de 1 a 11, as colunas 2 e 3 apresentam os desvios-padrão das coordenadas estimadas pelos receptores GNSS de dupla frequência e nas colunas 4 e 5 estão calculadas as discrepâncias entre as coordenadas topográficas e as coordenadas geodésicas transformadas ao SGL.

Tabela 1 – Apresentação dos desvios-padrão das coordenadas estimadas pelos receptores GNSS de dupla frequência e as discrepâncias entre as coordenadas topográficas e as coordenadas geodésicas transformadas ao SGL para o ponto 1 (25 metros distante do eixo da rede elétrica).

Sessão (min)	Desvios-padrão		Discrepâncias	
	S_x	S_y	Δx (m)	Δy (m)
1	0,120	0,120	0,009	0,001
5	0,017	0,017	0,007	-0,008
15	0,005	0,005	0,008	-0,004
30	0,002	0,003	0,008	-0,003
45	0,002	0,003	0,007	-0,002
60	0,002	0,003	0,008	-0,002
Média	0,025	0,025	0,008	-0,003
DP	---	---	0,001	0,003

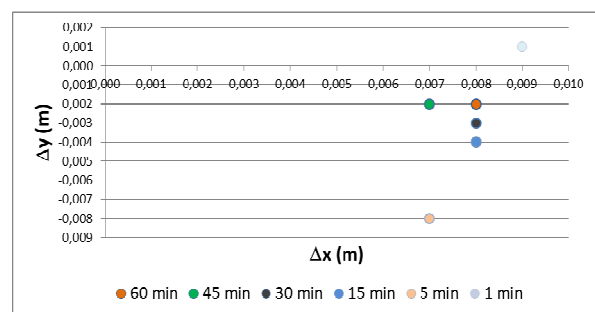


Figura 5 – Dispersão das discrepâncias das coordenadas do ponto 1 em diferentes períodos de rastreamento.

Tabela 2 – Apresentação dos desvios-padrão das coordenadas estimadas pelos receptores GNSS de dupla frequência e as discrepâncias entre as coordenadas topográficas e as coordenadas geodésicas transformadas ao SGL para o ponto 2 (20 metros distante do eixo da rede elétrica).

Sessão (min)	Desvios-padrão		Discrepâncias	
	S_x	S_y	Δx (m)	Δy (m)
1	0,086	0,146	-0,005	-0,010
5	0,015	0,024	-0,004	0,002
15	0,005	0,006	-0,002	-0,008
30	0,004	0,004	0,002	-0,007
45	0,003	0,004	0,004	-0,009
60	0,003	0,004	0,005	-0,008
Média	0,019	0,031	0,000	-0,007
DP	---	---	0,004	0,004

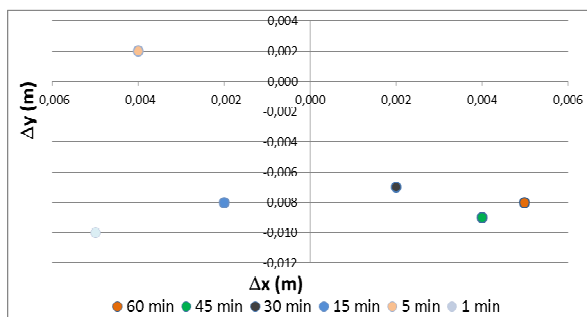


Figura 6 – Dispersão das discrepâncias das coordenadas do ponto 2 em diferentes períodos de rastreamento.

Tabela 3 – Apresentação dos desvios-padrão das coordenadas estimadas pelos receptores GNSS de dupla frequência e as discrepâncias entre as coordenadas topográficas e as coordenadas geodésicas transformadas ao SGL para o ponto 3 (15 metros distante do eixo da rede elétrica).

Sessão (min)	Desvios-padrão		Discrepâncias	
	S_x	S_y	Δx (m)	Δy (m)
1	0,118	0,119	-0,002	-0,004
5	0,016	0,016	0,000	-0,004
15	0,030	0,027	-0,006	-0,012
30	0,002	0,003	0,002	-0,006
45	0,003	0,003	0,001	-0,004
60	0,002	0,003	-0,002	-0,004
Média	0,029	0,029	-0,001	-0,006
DP	---	---	0,003	0,003

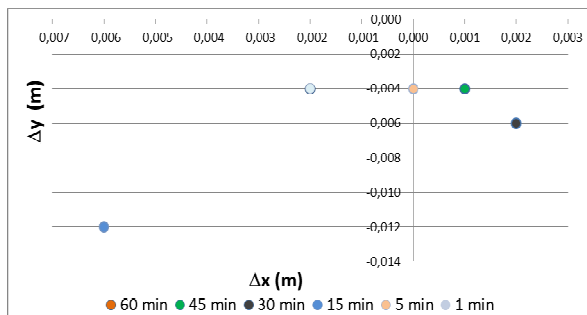


Figura 7 – Dispersão das discrepâncias das coordenadas do ponto 3 em diferentes períodos de rastreamento.

Tabela 4 – Apresentação dos desvios-padrão das coordenadas estimadas pelos receptores GNSS de dupla frequência e as discrepâncias entre as coordenadas topográficas e as coordenadas geodésicas transformadas ao SGL para o ponto 4 (10 metros distante do eixo da rede elétrica).

Sessão (min)	Desvios-padrão		Discrepâncias	
	S_x	S_y	Δx (m)	Δy (m)
1	0,098	0,116	0,012	-0,064
5	0,015	0,017	0,014	0,040
15	0,010	0,028	-0,003	0,069
30	0,003	0,003	0,007	-0,002
45	0,022	0,027	0,001	-0,015
60	0,017	0,017	0,003	-0,004
Média	0,028	0,035	0,006	0,004
DP	---	---	0,007	0,046

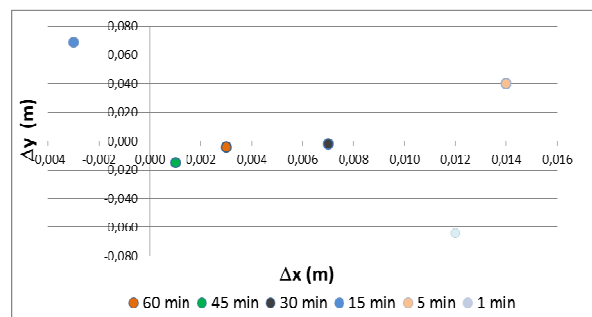


Figura 8 – Dispersão das discrepâncias das coordenadas do ponto 4 em diferentes períodos de rastreamento.

Tabela 5 – Apresentação dos desvios-padrão das coordenadas estimadas pelos receptores GNSS de dupla frequência e as discrepâncias entre as coordenadas topográficas e as coordenadas geodésicas transformadas ao SGL para o ponto 5 (5 metros distante do eixo da rede elétrica).

Sessão (min)	Desvios-padrão		Discrepâncias	
	S_x	S_y	Δx (m)	Δy (m)
1	0,094	0,110	-0,005	-0,005
5	0,014	0,018	-0,008	-0,010
15	0,004	0,007	0,002	0,003
30	0,027	0,029	0,007	-0,047
45	0,006	0,010	0,001	0,008
60	0,003	0,003	0,001	0,000
Média	0,025	0,030	0,000	-0,008
DP	---	---	0,005	0,020

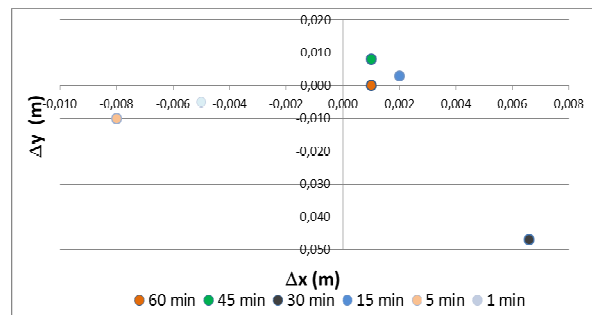


Figura 9 – Dispersão das discrepâncias das coordenadas do ponto 5 em diferentes períodos de rastreamento.

Tabela 6 – Apresentação dos desvios-padrão das coordenadas estimadas pelos receptores GNSS de dupla frequência e as discrepâncias entre as coordenadas topográficas e as coordenadas geodésicas transformadas ao SGL para o ponto 6 (eixo da rede elétrica).

Sessão (min)	Desvios-padrão		Discrepâncias	
	S_x	S_y	Δx (m)	Δy (m)
1	0,086	0,095	0,002	0,001
5	0,019	0,020	0,037	0,032
15	0,034	0,032	0,005	-0,009
30	0,140	0,055	0,007	0,010
45	0,008	0,009	-0,001	-0,004
60	0,007	0,009	0,002	0,002
Média	0,049	0,037	0,009	0,005
DP	---	---	0,014	0,015

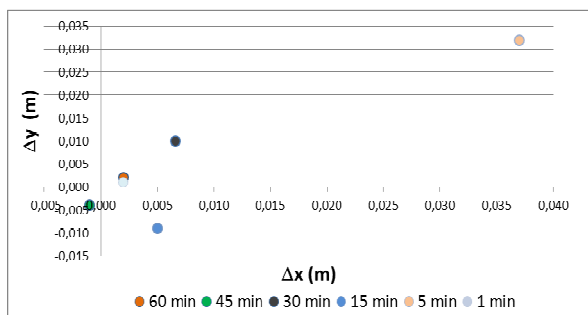


Figura 10 – Dispersão das discrepâncias das coordenadas do ponto 6 em diferentes períodos de rastreio.

Tabela 7 – Apresentação dos desvios-padrão das coordenadas estimadas pelos receptores GNSS de dupla frequência e as discrepâncias entre as coordenadas topográficas e as coordenadas geodésicas transformadas ao SGL para o ponto 7 (5 metros distante do eixo da rede elétrica).

Sessão (min)	Desvios-padrão		Discrepâncias	
	S_x	S_y	Δx (m)	Δy (m)
1	0,113	0,133	-0,001	-0,012
5	0,045	0,049	-0,064	-0,062
15	0,005	0,004	0,003	-0,007
30	0,002	0,002	0,001	-0,006
45	0,031	0,026	0,016	-0,022
60	0,003	0,004	0,001	-0,002
Média	0,033	0,036	-0,007	-0,018
DP	---	---	0,028	0,022

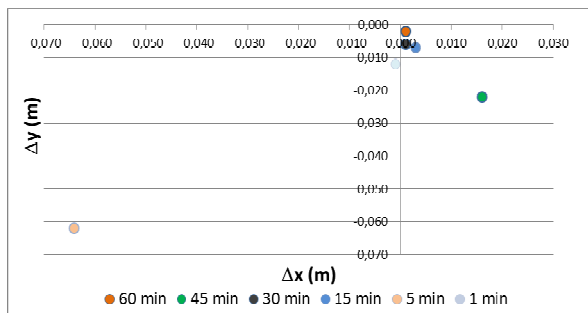


Figura 11 – Dispersão das discrepâncias das coordenadas do ponto 7 em diferentes períodos de rastreio.

Tabela 8 – Apresentação dos desvios-padrão das coordenadas estimadas pelos receptores GNSS de dupla frequência e as discrepâncias entre as coordenadas topográficas e as coordenadas geodésicas transformadas ao SGL para o ponto 8 (10 metros distante do eixo da rede elétrica).

Sessão (min)	Desvios-padrão		Discrepâncias	
	S_x	S_y	Δx (m)	Δy (m)
1	0,104	0,111	0,022	0,024
5	0,012	0,013	-0,006	-0,003
15	0,045	0,039	0,019	0,030
30	0,007	0,007	0,002	-0,002
45	0,007	0,009	-0,001	0,003
60	0,010	0,010	-0,002	-0,007
Média	0,031	0,032	0,006	0,008
DP	---	---	0,012	0,016

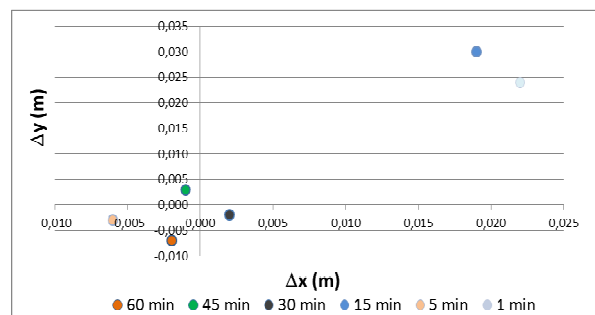


Figura 12 – Dispersão das discrepâncias das coordenadas do ponto 8 em diferentes períodos de rastreio.

Tabela 9 – Apresentação dos desvios-padrão das coordenadas estimadas pelos receptores GNSS de dupla frequência e as discrepâncias entre as coordenadas topográficas e as coordenadas geodésicas transformadas ao SGL para o ponto 9 (15 metros distante do eixo da rede elétrica).

Sessão (min)	Desvios-padrão		Discrepâncias	
	S_x	S_y	Δx (m)	Δy (m)
1	0,097	0,111	0,004	-0,015
5	0,032	0,039	-0,049	0,022
15	0,071	0,093	0,013	0,014
30	0,021	0,026	0,017	0,032
45	0,006	0,008	-0,002	0,004
60	0,003	0,004	0,000	-0,003
Média	0,038	0,047	-0,003	0,009
DP	---	---	0,024	0,017

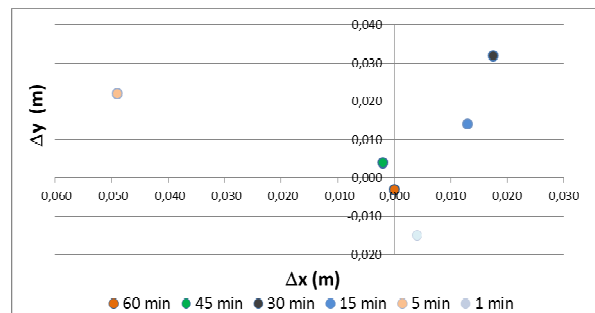


Figura 13 – Dispersão das discrepâncias das coordenadas do ponto 9 em diferentes períodos de rastreio.

Tabela 10 – Apresentação dos desvios-padrão das coordenadas estimadas pelos receptores GNSS de dupla frequência e as discrepâncias entre as coordenadas topográficas e as coordenadas geodésicas transformadas ao SGL para o ponto 10 (20 metros distante do eixo da rede elétrica).

Sessão (min)	Desvios-padrão		Discrepâncias	
	S_x	S_y	Δx (m)	Δy (m)
1	0,106	0,123	0,064	0,100
5	0,014	0,014	0,006	-0,001
15	0,035	0,037	0,008	0,026
30	0,010	0,010	0,007	-0,016
45	0,009	0,009	0,000	-0,025
60	0,003	0,003	0,009	-0,003
Média	0,030	0,033	0,016	0,014
DP	---	---	0,024	0,046

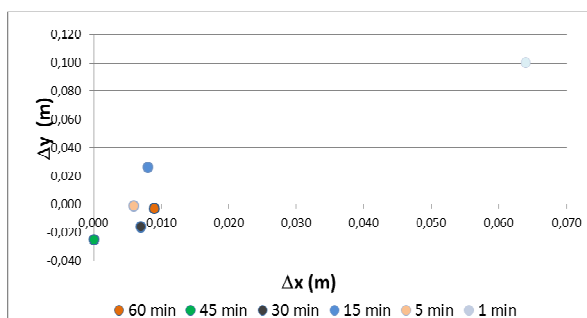


Figura 14 – Dispersão das discrepâncias das coordenadas do ponto 10 em diferentes períodos de rastreamento.

Tabela 11 – Apresentação dos desvios-padrão das coordenadas estimadas pelos receptores GNSS de dupla frequência e as discrepâncias entre as coordenadas topográficas e as coordenadas geodésicas transformadas ao SGL para o ponto 11 (25 metros distante do eixo da rede elétrica).

Sessão (min)	Desvios-padrão		Discrepâncias	
	S_x	S_y	Δx (m)	Δy (m)
1	0,105	0,113	-0,001	-0,024
5	0,014	0,016	-0,006	0,013
15	0,009	0,011	0,006	-0,002
30	0,014	0,017	0,001	-0,003
45	0,005	0,006	-0,002	-0,002
60	0,003	0,004	-0,001	-0,009
Média	0,025	0,028	-0,001	-0,005
DP	---	---	0,004	0,012

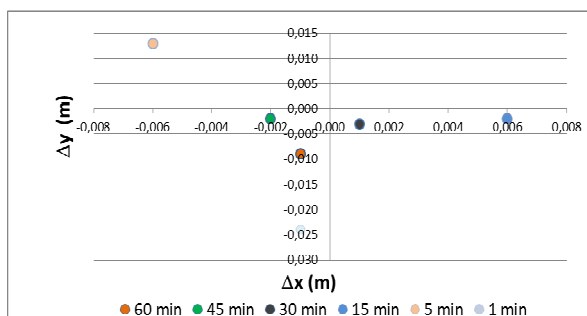


Figura 15 – Dispersão das discrepâncias das coordenadas do ponto 11 em diferentes períodos de rastreamento.

Analisando as tabelas 1 a 11 e as figuras 5 a 15, verifica-se que ampliando o período da sessão de rastreamento ocorre uma diminuição dos desvios-padrão amostrais nas coordenadas obtidas pelos receptores GNSS de dupla frequência e consequentemente uma redução das discrepâncias entre as coordenadas topográficas e as coordenadas geodésicas transformadas ao SGL.

Porém algumas sessões de rastreamento, em alguns pontos, não acompanharam este comportamento, pois apresentaram desvios-padrão e discrepâncias piores em comparação a períodos menores de rastreamento. Os pontos e sessões de rastreamento são: pontos 5 e 9 com 30 min, e os pontos 4, 7 e 10 com 45 min.

Apesar disto, preliminarmente, estes resultados não constata influência do efeito corona na qualidade do posicionamento já que são comportamentos isolados aleatórios.

3.2 Tratamentos estatísticos dos resultados nas coordenadas mensuradas com receptor GNSS de dupla frequência

As tabelas 12 e 13 apresentam as tendências, precisões e acurácias para as coordenadas x e y.

Tabela 12 – Resumo das medidas de tendência, precisão e acurácia (m) para a coordenada x dos pontos situados próximos a rede de transmissão.

Ponto	Tendência	Precisão (Eq. 1)	Acurácia (Eq. 2)
1	0,008	0,010	0,008
2	0,000	0,008	0,004
3	-0,001	0,012	0,003
4	0,006	0,011	0,008
5	0,000	0,010	0,005
6	0,009	0,020	0,016
7	-0,007	0,014	0,027
8	0,006	0,013	0,012
9	-0,003	0,016	0,022
10	0,016	0,012	0,027
11	-0,001	0,010	0,004

Tabela 13 – Resumo das medidas de tendência, precisão e acurácia (m) para a coordenada y dos pontos situados próximos a rede de transmissão.

Ponto	Tendência	Precisão (Eq. 1)	Acurácia (Eq. 2)
1	-0,003	0,010	0,004
2	-0,007	0,013	0,008
3	-0,006	0,012	0,006
4	0,004	0,014	0,042
5	-0,008	0,012	0,020
6	0,005	0,015	0,014
7	-0,018	0,015	0,028
8	0,008	0,013	0,016
9	0,009	0,019	0,018
10	0,014	0,013	0,044
11	-0,005	0,011	0,012

Avaliando os dados das tabelas 12 e 13 concomitantemente, verifica-se que os pontos 7 e 10 possuem os piores valores de acurácia para o conjunto de coordenadas x e y.

Para averiguar se os valores de acurácia são significativos ou não, será aplicado o intervalo de confiança para a média populacional μ , conforme a equação 3. Se o valor estimado para a média μ estiver inserido nesse intervalo, considera-se que não há tendência ao nível de probabilidade $(1 - \alpha)$. Neste trabalho aplicou-se a distribuição normal pelo t de Student ao nível de significância $\alpha = 5\%$, demonstrado nas tabelas 14 e 15.

Tabela 14 – Apresentação dos intervalos de confiança para as médias populacionais ao nível de 95% de probabilidade e valores de referência para a coordenada x.

Pt	Intervalo de confiança (m)	Valor de referência (m)	Avaliação da tendência
1	$1129,258 \leq \mu \leq 1129,274$	1129,274	Não significativo
2	$1131,347 \leq \mu \leq 1131,359$	1131,353	Não significativo
3	$1133,436 \leq \mu \leq 1133,454$	1133,444	Não significativo
4	$1135,510 \leq \mu \leq 1135,528$	1135,525	Não significativo
5	$1137,604 \leq \mu \leq 1137,620$	1137,612	Não significativo
6	$1139,667 \leq \mu \leq 1139,699$	1139,692	Não significativo
7	$1141,787 \leq \mu \leq 1141,808$	1141,790	Não significativo
8	$1143,844 \leq \mu \leq 1143,864$	1143,860	Não significativo
9	$1145,936 \leq \mu \leq 1145,961$	1145,946	Não significativo
10	$1148,007 \leq \mu \leq 1148,026$	1148,032	Significativo
11	$1150,109 \leq \mu \leq 1150,126$	1150,117	Não significativo

Tabela 15 – Apresentação dos intervalos de confiança para as médias populacionais ao nível de 95% de probabilidade e valores de referência para a coordenada y.

Pt	Intervalo de confiança (m)	Valor de referência (m)	Avaliação da tendência
1	$965,453 \leq \mu \leq 965,469$	965,458	Não significativo
2	$960,893 \leq \mu \leq 960,914$	960,897	Não significativo
3	$956,369 \leq \mu \leq 956,388$	956,373	Não significativo
4	$951,816 \leq \mu \leq 951,838$	951,831	Não significativo
5	$947,278 \leq \mu \leq 947,297$	947,279	Não significativo
6	$942,723 \leq \mu \leq 942,747$	942,740	Não significativo
7	$938,184 \leq \mu \leq 938,207$	938,177	Significativo
8	$933,629 \leq \mu \leq 933,650$	933,647	Não significativo
9	$929,078 \leq \mu \leq 929,108$	929,102	Não significativo
10	$924,529 \leq \mu \leq 924,550$	924,553	Significativo
11	$919,997 \leq \mu \leq 920,016$	920,002	Não significativo

Avaliando as tabelas 14 e 15, o ponto 7 apresenta tendência para componente y significativa e o ponto 10, as componentes x e y são significativas. Este comportamento não significa que ocorreu interferência do efeito corona gerado pelo campo elétrico da rede de transmissão.

O ponto 7 encontra-se distanciada a 5 m do eixo da rede elétrica e o ponto 10 distanciado a 20 m. Logo, analisando a localização destes pontos na figura 4, estes

vértices localizam-se somente em um lado da linha de transmissão. Caso houvesse interferência do campo elétrico, os pontos 5 e 2 que estão situados no lado oposto da rede de transmissão, respectivamente, também deveriam demonstrar tendência significativa nas componentes x e y.

Outro aspecto a ser considerado, os pontos 4 e 8 (10 m em relação ao eixo da rede) que possuem a maior influência do campo elétrico não apresentaram tendência significativa para as componentes x e y conforme apresentado nas tabelas 14 e 15

Analisando o motivo deste comportamento tendencioso dos pontos 7 e 10, verificou-se nos relatórios de processamento e ajustamento geodésico que os pontos foram rastreados no dia 23 de Julho de 2011, com horário de início às 16h 38min. No momento do levantamento utilizavam-se dois receptores GNSS de dupla frequência simultaneamente da mesma marca, modelo e características nominais do fabricante para efetuar o levantamento geodésico. Assim, estes pontos foram rastreados no mesmo período apresentando um aumento das discrepâncias entre as coordenadas topográficas e as coordenadas geodésicas transformadas ao SGL na sessão de rastreio a 45 min, caracterizando algum problema pontual na recepção dos sinais GNSS naquele instante.

3.3 Resultados das análises estatísticas complementares

Na obtenção de uma avaliação adimensional referente ao grau de associação entre as variáveis envolvidas, foi empregado o coeficiente de correlação de Pearson para as coordenadas x e y entre as diferentes sessões de rastreio. Nessa análise o r apresentou valor +1 para as coordenadas x e y para todas as sessões de rastreio (1 min, 5 min, 15 min, 30 min, 45 min e 60 min) em todos os pontos. Isso significa que há uma perfeita correlação linear positiva entre as amostras.

Outra avaliação adimensional realizada refere-se ao grau de exatidão entre as variáveis envolvidas. Ela está relacionada aos valores estimados e observados através do índice de concordância para as coordenadas x e y, entre as diferentes sessões de rastreio. Neste cálculo o c apresentou valor +1 em todos os períodos de rastreio para as coordenadas x e y. Isto significa que há uma mínima amplitude dos erros entre os dados propostos e os observados.

4. CONCLUSÃO

De acordo com a metodologia empregada e os resultados obtidos, as principais conclusões são:

i) A metodologia empregada permite a verificação da influência do efeito corona, gerado em redes elétricas de alta tensão, na exatidão das coordenadas planimétricas de pontos situados sobre elas, quando obtidas com receptores GNSS de dupla frequência;

ii) Quando do emprego da metodologia e para o equipamento usado, não se detecta influência significativa na exatidão das coordenadas desses pontos devido ao

efeito corona ou de qualquer efeito eletromagnético gerado em redes elétricas de alta tensão de 69 kV.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALSALMAN, A.S.A. Effects of electric power lines on the accuracy of GPS positioning. *Survey Review*, 2001.
- ANDRADE, J. B. de. Fotogrametria. Curitiba, SBEE, 1998. 258p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 13133: Execução de levantamento topográfico. Rio de Janeiro, 1994.
- BUENO, R. O efeito do multicaminhamento na determinação de coordenadas no posicionamento por satélites. *Revista MundoGeo*, 2000. Disponível em: <<http://mundogeo.com/blog/2000/01/01/o-efeito-do-multicaminhamento-na-determinacao-de-coordenadas-no-posicionamento-por-satelites/>>. Acesso em: 07 de Outubro de 2014.
- COSTA NETO, P. L.O. Estatística. 3ª edição, São Paulo: Editora Blücher, 2002, 266 p.
- DAL'FORNO, G. L.; AGUIRRE, A. J.; HILLEBRAND, F. L. e GREGÓRIO, F. V. Transformação de Coordenadas Geodésicas em Coordenadas no Plano Topográfico Local pelo Métodos da Norma NBR 14166:1998 e o de Rotações e Translações. *Anais do III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação*, Recife, 2010.
- DAL'FORNO, G.L.; SAMPAIO, M.I.R.; AGUIRRE, A.J.; HILLEBRAND, F.L. Levantamento planialtimétrico no plano topográfico local: estudo comparativo dos resultados obtidos a partir de métodos geodésicos e topográficos. *GAEA*, São Leopoldo: Ed.UNISINOS, 2009, p. 51-60.
- DEPARTMENT OF TRANSPORTATION OF STATE NEW JERSEY. Survey Manual: Chapter 4 – GPS Surveys. Disponível em: <<http://www.state.nj.us/transportation/eng/documents/survey/Chapter4.shtm>>, State of New Jersey, 2002-2012. Acesso em: 07 de junho de 2012.
- EARTH OBSERVATION MAGAZINE. GPS Questions and Answers. Outubro de 1995. 4(10): 55. Disponível em: <http://www.eonline.com/Common/Archives/1995/oct/95oct_gps.html>. Acesso em: 01 de dezembro de 2011.
- EUPOS - European Position Determination System. Guidelines for Single Site Design. Berlin: International EUPOS® Steering Committee, 2008, 22 p.
- GALO, M; DAL POZ, A. P; FERREIRA, F.M. Uso de feições no controle de qualidade em cartografia. *Anais do XIX Congresso Brasileiro de Cartografia*, Porto Alegre, RS, 2001, p 7-12.
- GEMAEL, C. Introdução ao ajustamento de observações: aplicações geodésicas. Curitiba: Editora UFPR, 1994. 319 p.
- HOFMANN-WELLENHOF, B. Global positioning system: theory and practice. New York: Springer-Werlag Wien, 2001, 382 p.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Recomendações para levantamentos relativos estáticos – GPS. Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: <ftp://geoftp.ibge.gov.br/documentos/geodesia/pdf/recom_gps_internet.pdf>. Acesso em: 07 de outubro de 2014.
- JAKELI, C. Geometric Reference Systems. Division of Geodesy and Geospatial Science. School of Earth sciences. Ohio State University, 2006. 195 p.
- MONICO, J. F. G. Posicionamento pelo GNSS – Descrição, Fundamentos e Aplicações. Fundação Editora UNESP, São Paulo. 2ª edição, 2008, 480 p.
- MONICO, J.F.G.; PÓZ, A.P.D.; GALO, M.; SANTOS, M.C.; OLIVEIRA, L.C. Acurácia e precisão: revendo os conceitos de forma acurada. *Boletim de Ciências Geodésicas, Seção Comunicações*, Curitiba, v. 15, nº 3, p. 469-483, jul-set, 2009.
- PACIFIC GAS AND ELECTRIC. Pacific Gas and Electric Delta Distribution Planning Area Capacity Increase Substation Project Proponent's Environmental Assessment. In: Corona and induced current effects. Cap. 16, p. 7, 2005.
- SILVA, J.M.; OLSEN, R.G. Use of Global Positioning System (GPS) Receivers Under Power-Line Conductors. *IEEE Transactions on Power Delivery*. Nº 4. October 2002. V. 17 P. 938 – 944. Disponível em: < <http://www.mendeley.com/research/global-positioning-system-gps-receivers-under-powerline-conductors/>>. Acesso em 20 de dezembro de 2011.
- SOARES, S.; BERRÊDO, R.C.; ATAÍDE, A.M.; FERREIRA, I. L. Avaliação de mapas urbanos produzidos a partir de imagens orbitais de alta resolução. *Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Florianópolis, SC, 2007, INPE, p. 679-685.
- SOUSA, C.R.M. GPS: Uma análise do sistema e de potenciais fontes de interferência. 2005. 90p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, RJ, 2005.
- VELDUIZEN, E.M.V.; RUTGERS, W.R.E. Corona discharges: fundamentals and diagnostics. s. n., 2000.
- WAN, A.; IBRAHIM, F. Assessing the Performance of MyRTKnet: Observations beneath High Voltage Power Lines. Department of Geomatic Engineering, Faculty of Geoinformation Science & Engineering, University Technology Malaysia, Malaysia, 2010. Disponível em: <https://www.academia.edu/763906/Assessing_the_Performance_of_MyRTKnet_Observations_beneath_High_Voltage_Power_Lines>. Acesso em 22 de dezembro de 2014.
- WILLMONT, C.J. On the validation of models. *Physical Geography*. V. 2, N. 2, p. 184 – 194, 1981.

Comparação dos programas TC2DFTPL e TCFOUR no cálculo da correção de terreno para o Estado do Rio Grande do Sul

Comparison of TC2DFTPL and TCFOUR programs in calculating terrain correction to Rio Grande do Sul State

Gabriela Pasetto Falavigna¹
Sérgio Florêncio de Souza¹

¹ Departamento de Geodésia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. Av. Bento Gonçalves, 9500, Campus do Vale. Cep 91501-970. Porto Alegre, RS, Brasil.
gabi_falavigna@hotmail.com, sergio.florencio@ufrgs.br

RESUMO – A correção de terreno é uma das reduções gravimétricas aplicadas ao valor da aceleração da gravidade. O objetivo desse trabalho consistiu na comparação do desempenho dos programas TC2DFTPL e TCFOUR para verificar se há diferenças significativas entre eles no cálculo da correção de terreno para o Estado do Rio Grande do Sul. Os resultados obtidos para os programas TC2DFTPL e TCFOUR foram similares. No entanto, o programa TCFOUR apresentou efeito de borda, ao contrário do programa TC2DFTPL. Notou-se uma diferença entre os resultados estatísticos para os valores máximos e mínimos obtidos para a correção de terreno, calculada por ambos os programas utilizando os MDTs do SRTM e do ASTER nas resoluções de 5 km, 2 km e 1 km. Concluiu-se que essa diferença se deva à necessidade de dividir a área de estudo para as maiores resoluções e também às diferenças altimétricas entre os dois MDTs; mais evidentes na região das maiores altitudes, como é o caso da região da Serra Geral.

Palavras-chave: TC2DFTPL, TCFOUR, Modelos digitais de terreno, Correção de terreno, Reduções gravimétricas.

ABSTRACT – The terrain correction is one of gravimetric reductions applied to gravitational acceleration value. The purpose of this study was compare the performance of TC2DFTPL and TCFOUR programs to check significant differences between these programs in calculating terrain correction for Rio Grande do Sul State. The results obtained for the TC2DFTPL and TCFOUR programs were similar. However, the TCFOUR program presents border effect, unlike TC2DFTPL program. It was noted a mismatch between the statistics results to maximum and minimum values obtained for terrain correction, calculated by both programs using the SRTM and ASTER DTMs with resolutions of 5 km, 2 km and 1 km. It was conclude that this difference is due to the need to partition the study area for higher resolutions and also the altimetric differences between two DTMs; more evident in the region of higher altitudes, such as the Serra Geral region.

Keywords: TC2DFTPL, TCFOUR, Digital terrain models, Terrain correction, Gravimetric reductions.

1. INTRODUÇÃO

A determinação do geoide através de dados gravimétricos envolve a solução do Problema do Valor do Contorno da Geodésia (PVCG), o qual pressupõe duas condições (GEMAEL, 2002):

- i. as medidas gravimétricas devem ser feitas sobre a superfície geoidal; e
- ii. não devem existir massas externas ao geoide.

O efeito gravitacional das massas topográficas localizadas acima do geoide deve ser considerado em várias aplicações da Geodésia Física, como, por exemplo, no cálculo das anomalias da gravidade (anomalia ar livre, de Bouguer, isostática) e das ondulações do geoide (MATOS, 2005).

A primeira condição do PVCG é satisfeita através da correção ar livre, que reduz o valor observado da gravidade ao geoide; e a segunda, pode ser atendida através do método de condensação de Helmert (MATOS,

2005), por meio do qual as massas topográficas são removidas e subsequentemente recolocadas no interior do geoide, considerando as massas externas com uma densidade específica.

A anomalia ar livre é obtida através da aplicação da correção ar livre, que considera a variação da gravidade entre a superfície física e a superfície do geoide, utilizando a altitude do ponto e desconsiderando a massa entre essas superfícies. A anomalia de Bouguer é obtida a partir da correção Bouguer, que remove o efeito das massas entre a estação e o geoide, assumindo que o espaço entre a superfície física e a do geoide seja preenchido uniformemente com massa, no caso de uma estação situada acima do geoide e uniformemente vazio, se a estação estiver abaixo do geoide. A anomalia isostática leva em conta a correção topo-isostática, a qual também considera a heterogeneidade de massa abaixo do geoide, entendida como massa de compensação da topografia acima do geoide (JAMUR et al., 2010).

A correção de terreno é utilizada em algumas das reduções aplicadas à aceleração da gravidade como, por

exemplo, na anomalia de Bouguer e na redução pelo método de Helmert (GEMAEL, 2002). Com a aplicação da correção de terreno nas anomalias gravimétricas, as massas externas ao geóide são verticalmente comprimidas sob a superfície do geóide, alterando o potencial gravitacional da Terra. Atualmente, o cálculo dessa correção tem sido possível, de forma sistemática, com a utilização de modelos digitais do terreno (MDTs) locais ou globais (JAMUR et al., 2010), pois as altitudes são fornecidas em grades de diferentes tamanhos que proporcionam o uso dos modelos topográficos de massa linear e de prismas retangulares, através do uso da FFT (*Fast Fourier Transform*) na fórmula da correção de terreno.

Nesse trabalho utilizaram-se os programas TC2DFTPL e TCFOUR, juntamente com os dados provenientes dos MDTs do *Shuttle Radar Topographic Mission* (SRTM) e do *Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer* (ASTER) *Global Digital Elevation Model* (GDEM) para o cálculo da correção de terreno a ser aplicada nas observações gravimétricas do Estado do Rio Grande do Sul.

2. CORREÇÃO DE TERRENO (CT)

As observações gravimétricas realizadas na superfície do terreno são fortemente afetadas pela topografia; sendo o seu efeito tanto maior quanto maior for a elevação onde a estação de medição se encontra.

A correção de terreno tem por objetivo regularizar a superfície topográfica, obtendo assim uma topografia definida por um platô com a altitude da estação de medição e com densidade constante, chamado de Platô de Bouguer.

Como o Platô de Bouguer possui espessura constante e equivalente à altitude da estação P, podem ocorrer massas no entorno desse ponto que não são consideradas ou que são removidas sem que existam. Assim, o valor da gravidade observado torna-se menor que o real, fazendo com que as correções para o efeito das irregularidades do terreno, em relação ao plano da altitude da estação, sejam sempre positivas (LOBIANCO, 2005). Para que esse problema seja resolvido e a anomalia de Bouguer refinada, faz-se necessário a adição de uma componente devido às massas topográficas que não foram consideradas acima da estação P e uma componente para corrigir a massa considerada, de forma incorreta, abaixo dessa estação (Fig. 1) (MATOS, 2005). Portanto, a correção de terreno assume valores sempre positivos (em aproximações planas (FORSBERG, 1984)), aumentando assim o valor da gravidade observado.

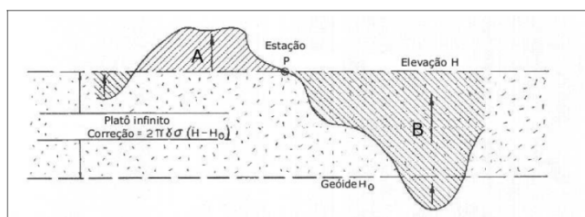


Figura 1 – Correção do Terreno
Fonte: Adaptado de Matos (2005).

Hammer (1939) desenvolveu um sistema para avaliação da correção de terreno (LOBIANCO, 2005). O método de Hammer para a correção de terreno considera a divisão da área ao redor da estação em zonas e compartimentos circulares (MATOS, 2005). A diferença de altitude entre o ponto de cálculo e cada compartimento ao seu redor é estimada, possibilitando o cálculo do efeito dessas massas na estação. Os raios e o número de compartimentos que cada zona de Hammer está dividida estão tabelados. Assim, a contribuição da correção de terreno para um ponto é dada pela soma dos valores tabelados para cada zona (LOBIANCO, 2005). A curvatura da Terra é ignorada nas Tabelas de Hammer, pois seu efeito é praticamente desprezível dentro da área coberta pelas tabelas; somente no centro da zona M a curvatura terrestre começa a ser considerável. A densidade do material de superfície adotada nas Tabelas de Hammer é de 2,0 g/cm³; para outra densidade, a correção total de terreno determinada pelas tabelas deve ser multiplicada pelo fator: densidade dividido por dois (LOBIANCO, 2005).

A fórmula clássica da correção de terreno é dada por (MATOS, 2005):

$$c(x_p, y_p) = \frac{G\rho R^2}{2} \iint_E \frac{[h(x,y) - h(x_p, y_p)]^2}{l^3(x_p - x, y_p - y)} dx dy \quad (1)$$

onde G é a constante gravitacional de Newton;

ρ é a densidade das massas topográficas assumida constante e igual a 2,67 g.cm⁻³;

R é o raio de uma esfera aproximada ao geóide global;

(x_p, y_p) é a coordenada do ponto de cálculo;

(x, y) são as coordenadas dos pontos do MDT;

h é a altitude do ponto acima do nível médio do mar;

E denota a área de integração da superfície;

$l(x_p - x, y_p - y)$ é o *kernel* definido como uma distância entre os pontos (x_p, y_p) e (x, y) :

$$l(x_p - x, y_p - y) = [(x_p - x)^2 + (y_p - y)^2]^{0,5} \quad (2)$$

O método de Hammer e a Eq. 1 geram resultados idênticos. O método de Hammer, embora eficiente, consome muito tempo e está sujeito a erro humano; além de se mostrar inviável na obtenção da correção de terreno de uma quantidade grande de pontos, como é o caso do cálculo de modelos regionais locais (LOBIANCO, 2005). Uma alternativa rápida e automatizada para a obtenção da correção de terreno em escalas pequenas se dá através da utilização de programas que avaliam a Eq.1 como uma integral de convolução sobre uma grade regular de MDT, usando a transformada rápida de Fourier (FFT-2D). Isto é possível através da relação:

$$F\{a * b\} = F\{a\}F\{b\} \quad (3)$$

onde $a * b$ é chamada de convolução das funções a e b , e $F\{a\}$ e $F\{b\}$ são as transformadas de Fourier de a e b , respectivamente (MATOS, 2005). A Eq.3 é aplicada à

Eq.1, onde a função a é o termo $[h(x, y) - h(x_p, y_p)]^2$ e a função b corresponde a $l^{-3}(x_p - x, y_p - y)$.

O uso da FFT-2D no cálculo da correção de terreno reduz, de forma considerável e eficaz, o tempo de cálculo, o processo laborioso e os erros humanos envolvidos na manipulação dos gabaritos de Hammer (LOBIANCO, 2005). Mais detalhes sobre o uso da FFT no cálculo do efeito do terreno podem ser encontrados em Forsberg (1984).

A correção de terreno assume valores relativamente pequenos. Em escala regional pode ser negligenciada, desde que a topografia seja plana ou moderada. No entanto, em escala local, ela precisa ser considerada, pois as anomalias envolvidas, neste caso, normalmente são pequenas. Em áreas montanhosas, com altitudes por volta de 3.000 m, a correção de terreno também precisa ser considerada, pois, nesta situação, pode assumir valores da ordem de 50 mGal (LOBIANCO, 2005).

3. MATERIAL E MÉTODO

3.1 Área de estudo

A área de estudo (Fig. 2), para a realização desse trabalho, situa-se na porção sul do Brasil e corresponde ao Estado do Rio Grande do Sul (RS). O RS abrange uma área total de 281.730,223 km² (ESTADOS@, 2014) e está compreendido entre as latitudes 33°43'S e 27°05'S e as longitudes 49°42'W e 57°40'W.



Figura 2 – Mapa da localização da Área de Estudo.
Fonte: Adaptado de Xavier (2009).

3.2 Dados utilizados

3.2.1 Dados altimétricos do SRTM

O SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*) é um projeto internacional liderado pela *National Geospatial-Intelligence Agency* (NGA) e pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) com o objetivo de produzir um modelo topográfico digital de alta resolução

para a Terra (NASA, 2013). Essa missão foi executada pelo ônibus espacial *Endeavour*, durante o período de 11 a 22 de fevereiro de 2000, cobrindo cerca de 80% da superfície terrestre (área compreendida entre as latitudes 60°N e 56°S), com resolução espacial de um segundo de arco (1''), o que corresponde a aproximadamente 30 metros. O método de aquisição dos dados altimétricos usado foi a interferometria por radar, que consiste na comparação de duas imagens de radar tomadas de pontos ligeiramente diferentes para obtenção da elevação. Para a realização desse procedimento, o ônibus espacial *Endeavour* foi equipado com um mastro de 60 metros e duas antenas de recepção (banda C e banda X) que foram instaladas uma no compartimento de carga do ônibus espacial e a outra na ponta do mastro que se estendia para fora da espaçonave; isso possibilitou a aquisição dos dados em uma mesma órbita, garantindo assim a melhor qualidade dos mesmos (RODRIGUEZ et al., 2005). As imagens do SRTM possuem resolução de 30 metros para os Estados Unidos e 90 metros para os outros países; seu referencial altimétrico é o elipsóide WGS84 e seu modelo do geopotencial é representado pelo *Earth Gravitational Model 1996* (EGM96). Os dados do SRTM para o Brasil estão disponíveis, de forma gratuita, para download no sítio do Centro de Ecologia da UFRGS: <<http://www.ecologia.ufrgs.br/labgeo>>.

Uma avaliação da qualidade dos dados altimétricos do SRTM feita para o Estado do RS pode ser encontrada em Lemos et al. (2004) e para o Brasil e a Argentina em Blitzkow et al. (2007). Os resultados preliminares da análise da qualidade dos dados altimétricos derivados do SRTM para uma área dentro do Estado do RS, obtidos por Lemos et al. (2004), demonstraram que, para muitas aplicações, o SRTM pode substituir os MDTs obtidos a partir de mapas topográficos na escala 1:250.000.

3.2.2 Dados altimétricos do ASTER GDEM

O *Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer* (ASTER) *Global Digital Elevation Model* (GDEM) foi desenvolvido em conjunto pelo METI (*Ministry of Economy, Trade and Industry*) do Japão e pela NASA (*United States National Aeronautics and Space Administration*). O ASTER GDEM contribuiu para o GEOSS (*Global Observation System of Systems*) e está disponível gratuitamente para os usuários via download nos sítios do ERSDAC (*Earth Remote Sensing Data Analysis Center*) do Japão e da LP DAAC (*NASA's Land Processes Distributed Active Archive Center*). Para esse trabalho os dados ASTER para a área de estudo foram adquiridos no sítio do ERSDAC: <<http://gdem.ersdac.jspacesystems.or.jp/search.jsp>>.

O ASTER foi construído pelo METI e lançado através da nave espacial Terra da NASA, em dezembro de 1999. Possui, ao longo da sua trajetória, capacidade estereoscópica através do uso da banda espectral do infravermelho próximo e resolução espacial de 15 m no plano horizontal. Cobriu a área da superfície terrestre compreendida entre as latitudes 83°N e 83°S (22.600 áreas de 1°x1° - foram incluídas áreas que continham, pelo

menos, 0,01% da superfície terrestre); está no formato GeoTIFF, com coordenadas geográficas lat/long e grid de 1" de arco (~30 m); seu referencial altimétrico é o WGS84 e seu modelo do geopotencial é representado pelo EGM96 (GISAT, 2014).

A metodologia utilizada para a sua produção envolveu o processamento automatizado de todo o arquivo de cenas ASTER (1,5 milhões de cenas). Fez-se uso da estéreo-correlação para a produção de 1.264.118 cenas-base ASTER DEMs individuais; máscara de nuvem para remoção de pixels ruins; junção de todas as nuvens DEMs selecionadas, removendo os valores residuais ruins e os *outliers*; uso da média dos dados selecionados para definição dos valores de pixels finais e correção das anomalias residuais antes do particionamento dos dados em áreas de 1°x1° (GISAT, 2014).

Produções prévias estimam (mas não garantem) uma acurácia para esse produto global de 20 m com 95% de confiança para os dados verticais e 30 m com 95% de confiança para os dados horizontais (GISAT, 2014).

Em Druzina (2007) encontra-se uma comparação entre os MDTs gerados para o município de Porto Alegre/RS a partir de diferentes dados (Cartas topográficas na escala 1:50.000, ASTER e SRTM) com os MDTs da verdade terrestre. Os resultados estatísticos destas avaliações demonstraram que o MDT ASTER foi o modelo que apresentou o menor Erro Médio Quadrático em Área Acidentada (6,522 m) e o segundo menor Erro Médio Quadrático em Área Plana (4,626 m) e em Área Mista (6,698 m).

3.3. Programas utilizados

3.3.1. TC2DFTPL

O programa em FORTRAN77, chamado TC2DFTPL, desenvolvido por Sideris (1985) e Li e Sideris (1994), utiliza a Eq. 1 como uma integral de convolução sobre uma grade regular de MDT e calcula a correção de terreno via FFT-2D (MATOS, 2005). Para o programa rodar é preciso informar: o nome do arquivo que contém as altitudes, o número de linhas e colunas e as resoluções, em quilômetros, em x (dx_km) e y (dy_km) do arquivo. As informações número de linhas e colunas e as resoluções devem ser colocadas na primeira linha do arquivo das altitudes, separadas por espaço; depois deve-se informar ao programa a ordem em que estas informações estão dispostas no arquivo das altitudes. Após o processamento dos dados pelo programa, três arquivos de saída são produzidos: o primeiro é a correção de terreno a ser aplicada nos dados gravimétricos considerando o modelo topográfico como tendo a massa concentrada num prisma; o segundo é a correção de terreno a ser aplicada nos dados gravimétricos considerando o modelo topográfico de massa linear e o terceiro arquivo faz uma média entre os dois arquivos de saída anteriores.

Nesse trabalho, para o cálculo da correção de terreno pelo programa TC2DFTPL, considerou-se o modelo topográfico como tendo a massa concentrada num prisma.

3.3.2. TCFOUR

O TCFOUR é um programa da IAG *International Geoid School* e faz parte do conjunto GRAVSOFT (JAMUR; de FREITAS, 2012). Esse programa utiliza duas grades de MDTs com resoluções diferentes para o cálculo da correção de terreno. A primeira grade, chamada de grade detalhada ou de alta resolução, é a que recupera a maior parte do efeito do terreno sobre a grandeza do campo da gravidade devido à proximidade do ponto de cálculo, e é considerada até um raio R_0 . A segunda grade é a chamada grade de referência, a qual funciona como um filtro passa alta (JAMUR; de FREITAS, 2012). Para o programa rodar é preciso informar os nomes dos arquivos que contêm os dados de entrada, nessa ordem: grade detalhada; grade de referência; nome do arquivo de saída; opção do que se quer calcular (opção 3 para correção de terreno); raio (em km) de consideração no cálculo; número de linhas e colunas do arquivo. O programa TCFOUR calcula a correção de terreno via FFT para uma aproximação plana (FORSBERG; TSCHERNING, 2008) e gera um arquivo de saída.

Nesse trabalho, as grades de maior resolução utilizadas foram de 10 km, 5 km, 2 km e 1 km extraídas dos MDTs do SRTM (com resolução espacial de 90 m) e do ASTER (com resolução espacial de 30 m), utilizando um $R_0 = 999$ km. A resolução das grades de referência utilizadas foi de 20 km, também extraídas dos MDTs do SRTM e do ASTER.

3.4. Cálculo da CT através dos programas TC2DFTPL e TCFOUR

O cálculo da correção de terreno através dos programas TC2DFTPL e TCFOUR foi feito utilizando os dados dos MDTs do SRTM e do ASTER com resoluções de 20 km, 10 km, 5 km, 2 km e 1 km. Nesses programas foi calculada a CT para os MDTs do SRTM e do ASTER nas resoluções de 10 km, 5 km, 2 km e 1 km. O MDT com resolução de 20 km foi utilizado como grade de referência no programa TCFOUR.

No programa TC2DFTPL, para os MDTs do SRTM, foi necessário dividir a área do RS apenas para o modelo de 1 km. Assim, a área do RS foi dividida em quatro partes. Já para os MDTs do ASTER foi necessário dividir a área de estudo para os modelos de 2 km e 1 km. Assim, a área de estudo foi dividida, respectivamente, em duas e nove partes.

No programa TCFOUR, para os MDTs do SRTM, não foi necessário dividir a área do RS para nenhum dos modelos. Já para os MDTs do ASTER foi necessário dividir a área de estudo para o modelo de 1 km. Assim, a área do RS foi dividida em quatro partes.

Após o cálculo da CT pelos programas, pode-se notar que o programa TCFOUR apresentou efeito de borda para a área de estudo e para as divisões necessárias da área de estudo. Ao contrário do programa TC2DFTPL, que não apresentou efeito de borda em nenhuma situação.

A divisão da área de estudo foi necessária devido à limitação da capacidade de processamento dos dados pelos programas para calcular a transformada de Fourier em uma única convolução. Na Tab. 1 é possível verificar para quais resoluções de MDTs foi necessário compartimentar a área de estudo.

Tabela 1 – Necessidade de compartimento da área de estudo para o cálculo da CT pelos programas.

Programa	Resolução MDT	SRTM	ASTER
TC2DFTPL	10 km	Não	Não
	5 km	Não	Não
	2 km	Não	Sim
	1 km	Sim	Sim
TCFOUR	10 km	Não	Não
	5 km	Não	Não
	2 km	Não	Não
	1 km	Não	Sim

3.5. Comparação da CT calculada pelos programas TC2DFTPL e TCFOUR

Com o intuito de verificar se a região do Estado em que a correção de terreno assume os valores mais elevados mudava conforme a utilização de um MDT com resolução diferente, no cálculo da CT, comparou-se a CT calculada pelos programas TC2DFTPL e TCFOUR utilizando os MDTs do SRTM e do ASTER nas resoluções de 5 km, 2 km e 1 km com a CT calculada por esses programas utilizando os MDTs na resolução de 10 km.

As Fig. 3, 4 e 5 trazem, respectivamente, a comparação (em vermelho) entre a CT calculada pelo programa TC2DFTPL utilizando os MDTs do SRTM com resoluções de 5 km, 2 km e 1 km com a CT calculada por esse programa utilizando o MDT de 10 km.

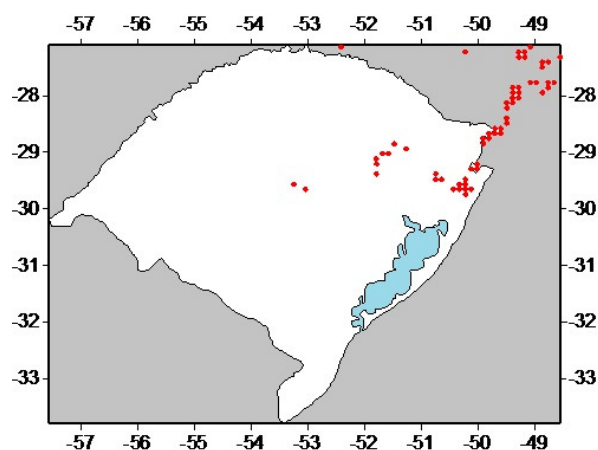


Figura 3 – TC2DFTPL_SRTM: 5 km x 10 km

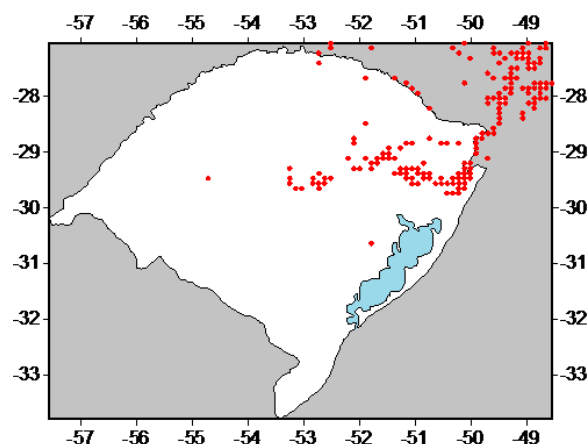


Figura 4 – TC2DFTPL_SRTM: 2 km x 10 km

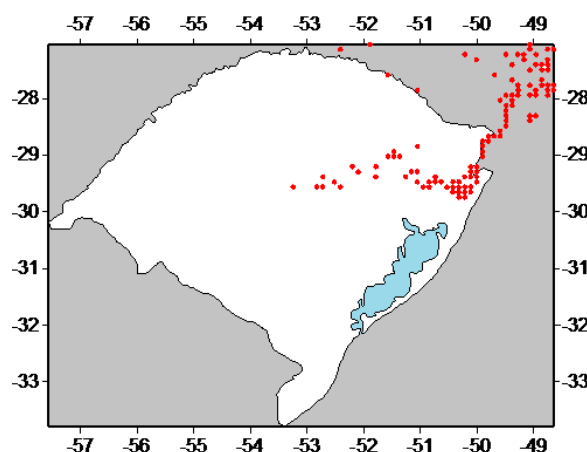


Figura 5 – TC2DFTPL_SRTM: 1 km x 10 km

As Fig. 6, 7 e 8 trazem, respectivamente, a comparação (em vermelho) entre a CT calculada pelo programa TCFOUR utilizando os MDTs do SRTM com resoluções de 5 km, 2 km e 1 km com a CT calculada por esse programa utilizando o MDT de 10 km.

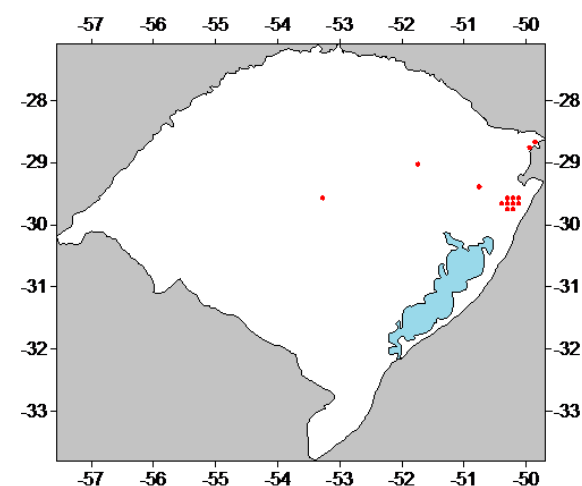


Figura 6 – TCFOUR_SRTM: 5 km x 10 km

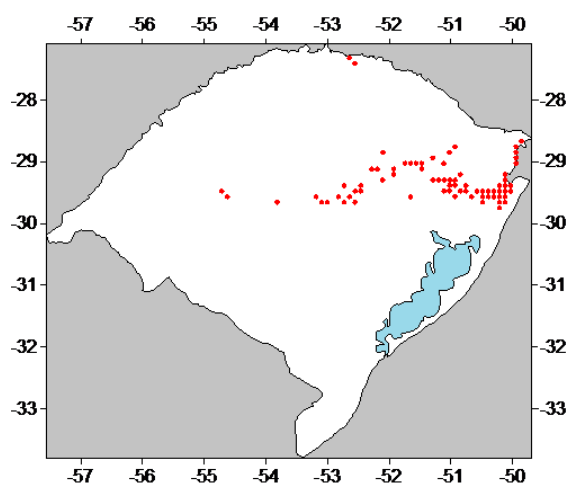


Figura 7 – TCFOUR_SRTM: 2 km x 10 km

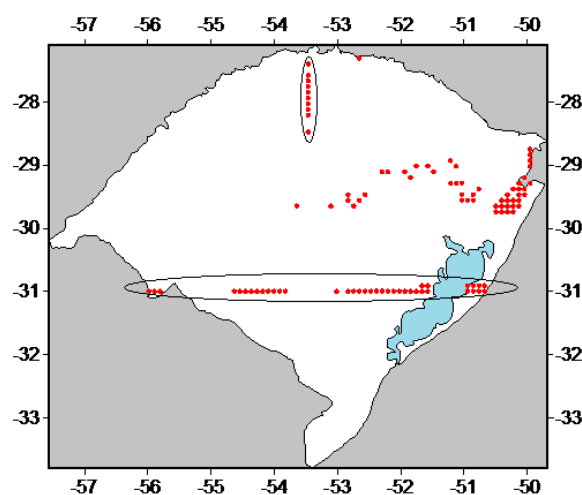


Figura 9 – TCFOUR_ASTER: 1 km x 10 km

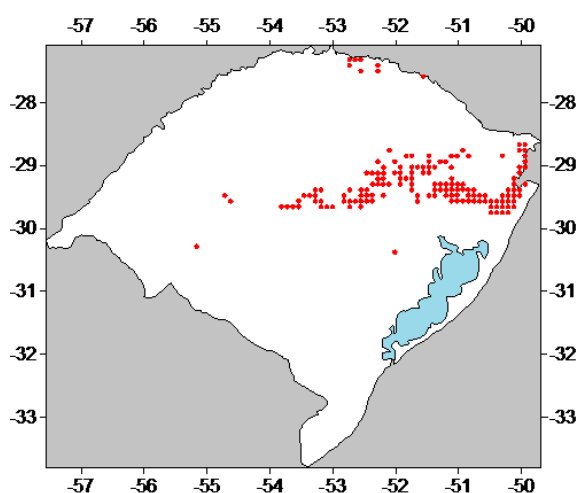


Figura 8 – TCFOUR_SRTM: 1 km x 10 km

Através das Fig. 3 a 8, percebe-se que as diferenças (em vermelho) maiores que 0,9 mGal (em módulo) entre as correções de terreno para o modelo de menor resolução (10 km) e os de maior resolução (5 km, 2 km e 1 km) concentram-se na região do RS que compreende as altitudes mais elevadas do Estado, a qual é denominada Serra Geral.

A comparação das CTs calculadas com os MDTs do ASTER foi feita da mesma forma e os resultados obtidos foram similares aos obtidos com os MDTs do SRTM. Observou-se que as diferenças maiores que 0,9 mGal (em módulo) entre as CTs calculadas para o modelo de menor resolução (10 km) e os de maior resolução (5 km, 2 km e 1 km) também concentram-se na região da Serra Geral e pode-se observar o efeito de borda nas subdivisões feitas na área de estudo para o modelo de 1 km. A Fig. 9 mostra em vermelho a diferença entre as CTs calculadas utilizando o MDT do ASTER com resolução de 1 km e utilizando o MDT do ASTER com resolução de 10 km e, circulado em preto, o efeito de borda observado nas divisões da área de estudo.

Após, comparou-se a CT calculada por ambos os programas utilizando os MDTs do SRTM nas resoluções de 10 km, 5 km, 2 km e 1 km. As diferenças entre as CTs são mostradas em vermelho nas Fig. 10, 11 e 12, respectivamente.

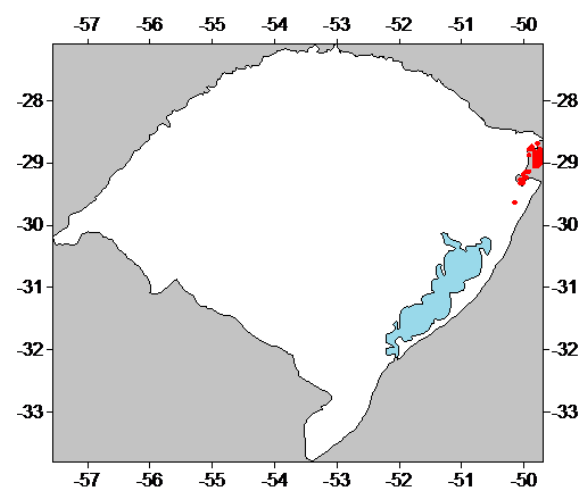


Figura 10 – TC2DFTPL x TCFOUR_SRTM: 5 km x 5 km

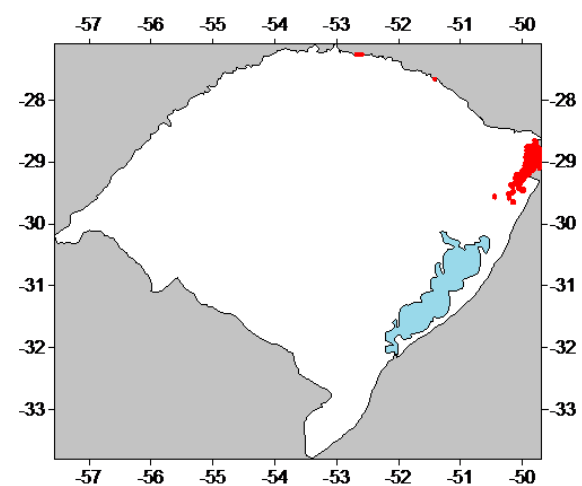


Figura 11 – TC2DFTPL x TCFOUR_SRTM: 2 km x 2 km

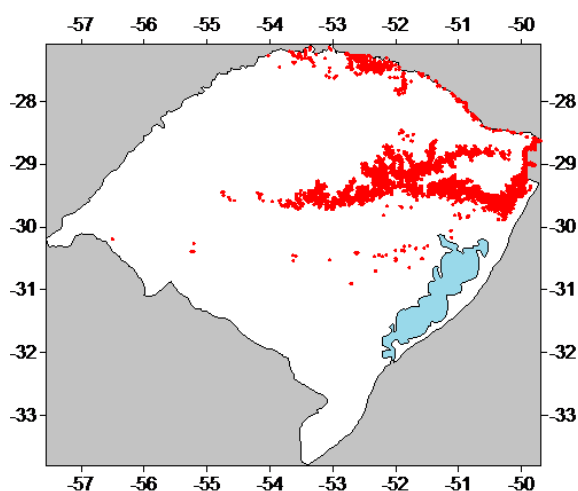


Figura 12 – TC2DFTPL x TCFOUR_SRTM: 1 km x 1 km

As correções de terreno calculadas pelos dois programas para o modelo de 10 km são similares, pois não foi identificada nenhuma diferença acima de 1 mGal (em módulo). Através da análise da Fig. 10, percebe-se que as CTs calculadas pelos dois programas para o modelo de 5 km também são similares, pois as diferenças maiores que 1 mGal (em módulo) aparecem em pouca quantidade e concentram-se no limite nordeste do Estado do RS. No entanto, analisando as Fig. 11 e 12, percebe-se que as diferenças maiores que 1 mGal (em módulo) entre os modelos de 2 km e 1 km aparecem em maiores quantidades que as do modelo de 5 km e concentram-se na região da Serra Geral do Estado do RS.

Assim como foi verificado utilizando os MDTs do SRTM, constatou-se que as CTs calculadas pelos dois programas utilizando os MDTs do ASTER para o modelo de 10 km são similares, pois não foi identificada nenhuma diferença acima de 1 mGal (em módulo) e que as diferenças maiores que 1 mGal (em módulo) entre os modelos de 5 km, 2 km e 1 km também concentram-se na região da Serra Geral. Na Fig. 13 podem-se visualizar, em vermelho, as diferenças entre as CTs calculadas por ambos os programas para o modelo de 1 km do ASTER e, circulado em preto, o efeito de borda observado nas divisões feitas na área de estudo.

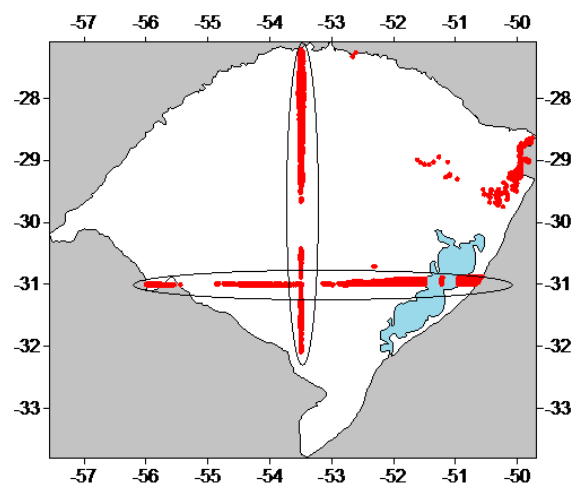


Figura 13 – TC2DFTPL x TCFOUR_ASTER: 1 km x 1 km

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

As estatísticas da correção de terreno, calculada pelos programas TC2DFTPL e TCFOUR, utilizando os dados do SRTM e do ASTER, podem ser vistas nas Tab. 2, 3, 4 e 5.

Tabela 2 – Estatísticas da CT, calculada pelo programa TCFOUR, utilizando os MDTs do SRTM.

Estatísticas (mGal)	SRTM			
	TCFOUR			
	Resolução MDT			
	10 km	5 km	2 km	1 km
Mínimo	0,0124	0,0130	0,0150	-0,1792
Máximo	3,2260	6,4740	12,3951	17,6582
Média	0,1529	0,1971	0,2831	0,3271
Desvio Padrão	0,2466	0,3468	0,5459	0,6975

Tabela 3 – Estatísticas da CT, calculada pelo programa TCFOUR, utilizando os MDTs do ASTER.

Estatísticas (mGal)	ASTER			
	TCFOUR			
	Resolução MDT			
	10 km	5 km	2 km	1 km
Mínimo	0,0120	0,0130	-0,0730	0,0010
Máximo	3,5070	6,0780	13,8210	11,6769
Média	0,1595	0,2048	0,2893	0,3024
Desvio Padrão	0,2571	0,3772	0,5927	0,5963

Analisando as Tab. 2 e 3, percebe-se que a CT calculada pelo programa TCFOUR, utilizando o MDT do SRTM com resolução de 1 km e utilizando o MDT do ASTER com resolução de 2 km, apresenta valor mínimo inconsistente (negativo). Além disso, as estatísticas da CT para o MDT com resolução de 1 km do ASTER (Tab. 3), calculado pelo programa TCFOUR, apresenta seus valores comprometidos devido à presença do efeito de borda nas divisões da área de estudo (Fig. 13).

Tabela 4 – Estatísticas da CT, calculada pelo programa TC2DFTPL, utilizando os MDTs do SRTM.

Estatísticas (mGal)	SRTM			
	TC2DFTPL			
	Resolução MDT			
	10 km	5 km	2 km	1 km
Mínimo	0,0020	0,0020	0,0020	0
Máximo	7,0610	10,9790	20,1380	13,1037
Média	0,1160	0,1522	0,2120	0,1715
Desvio Padrão	0,3050	0,4252	0,6106	0,4981

Tabela 5 – Estatísticas da CT, calculada pelo programa TC2DFTPL, utilizando os MDTs do ASTER.

ASTER				
TC2DFTPL				
Estatísticas (mGal)	Resolução MDT			
	10 km	5 km	2 km	1 km
Mínimo	0,0010	0,0010	0,0010	0
Máximo	6,4380	10,4510	10,7467	13,2143
Média	0,1004	0,1302	0,1402	0,1200
Desvio Padrão	0,2697	0,3868	0,4531	0,4154

Analisando as Tab. 4 e 5, percebe-se que a CT calculada pelo programa TC2DFTPL, utilizando os MDTs do SRTM e do ASTER não apresenta valores negativos, como observado na CT calculada pelo programa TCFOUR (Tab. 2 e Tab. 3). No entanto, os valores mínimo e máximo para o MDT do SRTM com resolução de 1 km (Tab. 4) e para o MDT do ASTER com resoluções de 2 km e 1 km (Tab. 5) são subestimados, devido à necessidade de compartimentar a área de estudo para essas resoluções.

Para efeito de comparação entre as estatísticas da correção de terreno calculadas pelos dois programas, o efeito de borda foi desconsiderado. Assim, nota-se que existe uma relação diretamente proporcional entre a resolução do modelo digital de terreno utilizado no cálculo da correção de terreno e o valor da correção a ser aplicado nos dados gravimétricos: à medida que a resolução do MDT utilizado aumenta, a correção de terreno a ser aplicada nos dados gravimétricos também aumenta. Isso ocorre, pois quanto mais denso o MDT, maior é a quantidade de informação que se tem sobre a área de estudo e, por isso o valor da CT aumenta. No entanto, isso não ocorre quando se faz necessário dividir a área de estudo (ver Tab. 1) para que se torne possível o cálculo da CT pelos programas. Assim, nos casos em que seja necessário dividir a área de estudo, o valor da correção de terreno calculada será subestimado (principalmente as correções calculadas pelo programa TC2DFTPL, como pode ser verificado através das Tab. 4 e 5). Quando a área de estudo é dividida, a CT é subestimada devido ao programa não conseguir processar todos os dados em uma única vez. Assim, quanto maior a quantidade de dados, maior é a suavização na determinação da CT.

Nas Tab. 6 e 7 podem ser vistas, respectivamente, as estatísticas referentes à comparação entre as CTs calculadas pelos programas TC2DFTPL e TCFOUR para as diferenças encontradas maiores que 1 mGal (em módulo), para os MDTs do SRTM e do ASTER nas resoluções de 10 km, 5 km, 2 km e 1 km.

Tabela 6 – Estatística da comparação entre as CTs calculadas pelos programas utilizando os MDTs do SRTM.

TC2DFTPL x TCFOUR				
SRTM				
Estatística (mGal)	Resolução MDT			
	10 km	5 km	2 km	1 km
Mínimo	-0,9314	-2,7299	-7,9367	-2,9363
Máximo	0,4700	1,6162	6,0104	11,3941
Média	0,0010	0,2553	0,8731	1,8465
Desvio Padrão	0,0471	1,5334	2,2456	1,1058

Tabela 7 – Estatística da comparação entre as CTs calculadas pelos programas utilizando os MDTs do ASTER.

TC2DFTPL x TCFOUR				
ASTER				
Estatística (mGal)	Resolução MDT			
	10 km	5 km	2 km	1 km
Mínimo	-0,7390	1,0010	-5,4507	-5,6386
Máximo	0,4126	4,7716	5,8827	11,6750
Média	-0,0046	1,6959	1,7415	2,3872
Desvio Padrão	0,0425	0,6404	1,3191	1,9927

Através das Tab. 6 e 7, verifica-se que para o modelo de 10 km, tanto para o MDT do SRTM como do ASTER, não foram encontradas diferenças maiores que 1 mGal (em módulo) entre as CTs calculadas por ambos os programas. No entanto, para as demais resoluções (5 km, 2 km e 1 km) foram encontradas diferenças maiores que 1 mGal (em módulo), aparecendo em maiores quantidades nas resoluções de 2 km e 1 km (como verificado nas Fig. 11 e 12) e em menores quantidades na resolução de 5 km (como verificado na Fig. 10).

6. CONCLUSÃO

Ao final das avaliações pode-se concluir que os programas TC2DFTPL e TCFOUR, para o cálculo da correção de terreno, são similares e que os valores da CT calculados a partir do uso de MDTs com resolução de 5 km serão subestimados, pois para resoluções maiores (2 km e 1 km) ambos os programas não detectam a melhora do MDT. Isso é considerado um problema quando o objetivo for determinar geóides locais.

No entanto, aconselha-se a utilização do programa TC2DFTPL para o cálculo da correção de terreno. Isso é devido ao programa TC2DFTPL não apresentar efeito de borda, ao contrário do programa TCFOUR. Porém, deve-se tomar cuidado com sua utilização quando a área em estudo for muito extensa e se fizer necessário compartimentá-la; pois, como pode ser verificado nas Tab. 4 e 5, os resultados apresentados serão subestimados, devido à necessidade de dividir a área de estudo.

Concluiu-se também, através das Tab. 6 e 7, que os resultados das estatísticas de comparação entre os valores máximos e mínimos obtidos para a correção de terreno, calculada por ambos os programas, utilizando os MDTs do SRTM e do ASTER nas resoluções de 5 km, 2 km e 1 km se devam à necessidade de dividir a área de estudo para as maiores resoluções e também às diferenças altimétricas entre os dois MDTs; diferenças essas, que são mais evidentes na região das maiores altitudes, como é o caso da região da Serra Geral.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho faz parte de um projeto mais amplo sobre a determinação e avaliação do geóide no Estado do Rio Grande do Sul. Esse projeto conta com o apoio do CNPq na forma de fomento a projeto de pesquisa, através do apoio financeiro recebido em forma de Bolsa de Iniciação Científica PIBIC/CNPq-UFRGS.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BLITZKOW, D.; MATOS, A. C. O. C.; CINTRA, J. P. SRTM evaluation in Brazil and Argentina with emphasis on the Amazon region. *International Association of Geodesy Symposia*. v.130, p. 266-271, 2007.
- DRUZINA, A. G. S. Integração de dados altimétricos obtidos através de diferentes técnicas para geração de um novo modelo digital de elevação. Porto Alegre, 2007. 79p. Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto, Centro Estadual de Pesquisa em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- FORSBERG, R. A study of terrain reductions, density anomalies and geophysical inversion methods in gravity field modeling. *Scientific Report No. 5*, p. 33-69, 1984.
- FORSBERG, R.; TSCHERNING, C. C. An overview manual for the GRAVSOFT. *Geodetic Gravity Field Modelling Programs*. Dinamarca, 2008. 2ed. 75p.
- GEMAEL, C. Introdução à Geodésia Física. Curitiba. UFPR, 2002. 304p.
- GISAT. 2014. ASTER GDEM Readme File. Disponível em: <<http://www.gisat.cz/content/en/products/digital-elevation-model/aster-gdem>>. Acesso em 06/01/2014.
- HAMMER, S. Terrain corrections for gravimeter stations. *Geophysics*, v.4, p. 184-194, 1939.
- ESTADOS@. 2014. Rio Grande do Sul. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/estadosat/perfil.php?sigla=rs>>. Acesso em 17/12/2014.
- JAMUR, K. P.; PEREIRA, R. A. D.; de FREITAS, S. R. C.; MIRANDA, F. D. A.; FERREIRA, V. G. Avaliação da correção gravimétrica do terreno obtida de modelos digitais de elevação associados ao SGB e ao EGM2008. III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. p. 001-005, 2010.
- JAMUR, K. P.; de FREITAS, S. R. C. Estudo de alternativas para combinar altimetria e gravimetria por satélites para uso em regiões de baixa cobertura gravimétrica convencional. III Simpósio Brasileiro de Geomática. p. 280-295, 2012.
- LEMOS, M. C.; SOUZA, S. F.; ROCHA, R. S. Avaliação da qualidade dos dados altimétricos derivados do Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM): Resultados Preliminares. Anais I Simpósio em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. Recife, 2004. Disponível em: <<http://www.ufpe.br/cgtg/ISIMGEO/CD/html/Fotogrametria%20e%20Sensoriamento%20Remoto/Artigos/f008.pdf>>. Acesso em 26/11/2013.
- LI, Y. C.; SIDERIS, M. G. Improved gravimetric terrain corrections. *Geophysical Journal International*, v. 119, p. 740-752, 1994.
- LOBIANCO, M. C. B. Determinação das alturas do geóide no Brasil. São Paulo, 2005. 165p, p. 61-69. Tese de Doutorado em Engenharia, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
- NASA. 2013. Shuttle Radar Topography Mission. Disponível em: <<http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>>. Acesso em 24/01/2013.
- MATOS, A. C. O. C. Implementação de modelos digitais de terreno para aplicações na área de Geodésia e Geofísica na América do Sul. São Paulo, 2005. 355p. Tese de Doutorado em Engenharia, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
- RODRIGUEZ, E.; MORRIS, C. S.; BELZ, J. E.; CHAPIN, E. C.; MARTIN, J. M.; DAFFER, W.; HENSLEY, S. An assessment of the SRTM topographic products. Technical Report JPL D-31639, *Jet Propulsion Laboratory*. Pasadena, Califórnia, 2005. 143p.
- SIDERIS, M. G. A fast fourier transform method of computing terrain corrections. Manuscripta Geodaetica, v. 10, p. 66-73, 1985.
- XAVIER, M.B. Detecção de erros grosseiros em banco de dados gravimétrico terrestre do Estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2009. 103p. Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto, Centro Estadual de Pesquisa em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.