

Avaliação da exatidão planialtimétrica dos modelos digitais de superfície (MDS) e do terreno (MDT) obtidos através do LIDAR

Carla Bernadete Madureira Cruz¹
Rafael Silva de Barros¹
Phillipe Valente Cardoso¹
Rafael Balbi Reis¹
Luana Santos do Rosário¹
Suzana dos Santos Barbosa¹
Lis Maria Leoni Rabaco²
Julia Silva de Queiroz Lourenço¹

¹Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ
Departamento de Geografia
Av. Athos da Silveira Ramos, 274, CCMN, Sala I-012 - Ilha do Fundão
CEP 21941-590 – RJ, Brasil
cmad@ufrj.br, rafael.barros@ufrj.br, valentepq@gmail.com, rafabreis@gmail.com,
luanasantosdorosario@hotmail.com, barbosa.suzana@gmail.com

² Centro de Pesquisas e Desenvolvimento (CENPES)
Av. Horácio de Macedo 950 - Cidade Universitária
CEP 21941-915 - Ilha do Fundão - Rio de Janeiro – RJ
lismaria@petrobras.com.br

Abstract. It's noticed a significant increase in the development of orbital and airborne sensors that enable the extraction of three-dimensional data. Consequently, it's important the increment of studies about the quality of altimetric values derived from these sensors to verify if the improvements implemented in the acquisition of data may influence the results. In this context, as part of a larger project that aims to evaluate the accuracy of various sensors, this work aims to analysis the planialtimetric accuracy of DSM and DTM generated from an aerial survey with LIDAR, using as reference for the planimetric analysis the orthophotos obtained. The project was developed for an area of São Sebastião city, located in the basin of the North Coast of São Paulo. The area's relief is very steep, with a predominance of dense forest vegetation, typical of the Atlantic Forest. All points have been established in the field, with the use of GPS of one frequency (L1) through static relative positioning, acquiring a minimum of 1,500 epochs, for a distance less than 20 km to the base. In this work it's considered the Brazilian standard specifications for classification of cartographic bases (PEC). The analysis realized on products from the LIDAR indicated their adoption to the scales 1:2,000 (Class A for the orthophotos and Class B for the DTM) and 1:5,000 (class C for the DSM). It's important that new areas with different topographic characteristics may be evaluated to get an indication for other situations.

Palavras-chave: remote sensing, digital elevation model, planialtimetric accuracy, LIDAR, sensoriamento remoto, modelo digital de elevação, exatidão planialtimétrica.

1. Introdução

O interesse na investigação sobre altimetria oriunda dos novos produtos de sensoriamento remoto vem do fato de que a planimetria já foi, e é, alvo de interesse há algum tempo, tanto no atendimento à cartografia temática quanto à de base. Além da necessidade de estudos relacionados à altimetria, esta categoria vem despertando crescentes uso e interesse. Fernandes (2004) e Gomes (2002) são exemplos de uso de altimetria em estudos relacionados a áreas temáticas, enquanto Toutin (2002, 2004), Gonçalves *et al.* (2005) e Barros (2006) exemplificam aplicações mais relacionadas à cartografia básica.

Por outro lado, tem-se percebido um importante incremento no desenvolvimento de sensores orbitais e aéreos que possibilitam a extração de dados tridimensionais. Conseqüentemente, cresce também a necessidade de se estudar a qualidade da altimetria obtida a partir desses sensores e a verificação do quanto os avanços implementados no processo de aquisição do dado podem influenciar nos resultados.

No caso das novas metodologias de obtenção de Modelos Digitais de Elevação (MDE) atenderem às expectativas, atingindo escalas de maior detalhamento, terá sido dado um importante passo no sentido de se gerar dados numa relação custo x benefício vantajosa, principalmente no quesito tempo, quando comparadas às metodologias convencionais. Neste caso, feições topográficas poderão ser obtidas para as mais vastas áreas de nosso país, atendendo à demanda de grande parte dos estudos e atividades relacionadas à representação topográfica.

Existe uma variedade de terminologias para designar modelos digitais que representam a superfície terrestre, sua topografia ou ainda, outras variáveis cuja representação no espaço necessite de uma forma de expressão contínua (como é o caso da temperatura, poluição, dentre outras). Neste caso, é importante se fazer a diferenciação entre os termos a serem adotados no presente trabalho. De forma simplificada, será assumido que os MDS representam a superfície do terreno acrescida de quaisquer objetos existentes sobre ela e que influenciem no valor da reflectância do pixel. Ou seja, se existirem árvores e construções, a superfície representada refere-se ao topo das mesmas. Os MDT, por outro lado, representam a superfície real do terreno.

A área de interesse da investigação é alvo de pesquisa de um projeto maior, de responsabilidade do Laboratório de Sensoriamento Remoto ESPAÇO, do Departamento de Geografia da UFRJ, com o apoio do CENPES/Petrobras, que estuda o uso de diversos sensores, aéreos e orbitais, na geração de representações tridimensionais. Sua escolha se dá pelo fato de fazer parte da área de influência do OSBAT (Oleoduto São Sebastião-Cubatão, SP). Neste contexto, um dos sensores analisados foi o LIDAR (*Light Detection And Ranging*), que se constitui em uma tecnologia óptica de sensoriamento remoto aéreo que mede propriedades da luz refletida de modo a obter a distância e/ou outra informação a respeito de um determinado objeto. O perfilamento a laser tem se apresentado como uma tecnologia diferenciada para obtenção de MDE de alta resolução, possibilitando a extração de MDT, assim como o radar interferométrico.

Desta forma, o presente trabalho objetiva avaliar a exatidão planialtimétrica do MDS e MDT gerados a partir de um levantamento aéreo com o LIDAR, utilizando como referência planimétrica as ortofotos obtidas durante o imageamento.

2. Metodologia

O projeto foi desenvolvido para parte do município de São Sebastião, localizado na bacia do Litoral Norte de São Paulo. Essa bacia é caracterizada por uma faixa litorânea estreita delimitada pela Serra do Mar, o que faz com que seja uma região constituída de grandes variações de altitudes, caracterizada por um relevo bastante íngreme. Essa estrutura de relevo, de grandes altitudes e declividades, dificulta o acesso à área e propicia a manutenção de uma vegetação densa e de grande porte. A cobertura predominante na área é a floresta ombrófila densa, vegetação característica do bioma Mata Atlântica. Na faixa do litoral encontra-se uma estreita baixada com ocupações urbanas que variam de densidade. A figura 1 apresenta a localização geral da área de estudo.

Para o presente projeto foi adotado o sensor Optech ALTM 2050 (*Airborne Laser Terrain Mapper*). O levantamento objetivou atender às precisões planimétrica de 0,5m e altimétrica de 0,15m, com densidade de pontos equivalente a um ponto a cada 80cm, em

atendimento ao PEC, classe A, para a escala 1:2.000. O MDS gerado tem precisão estimada de 0,3m.

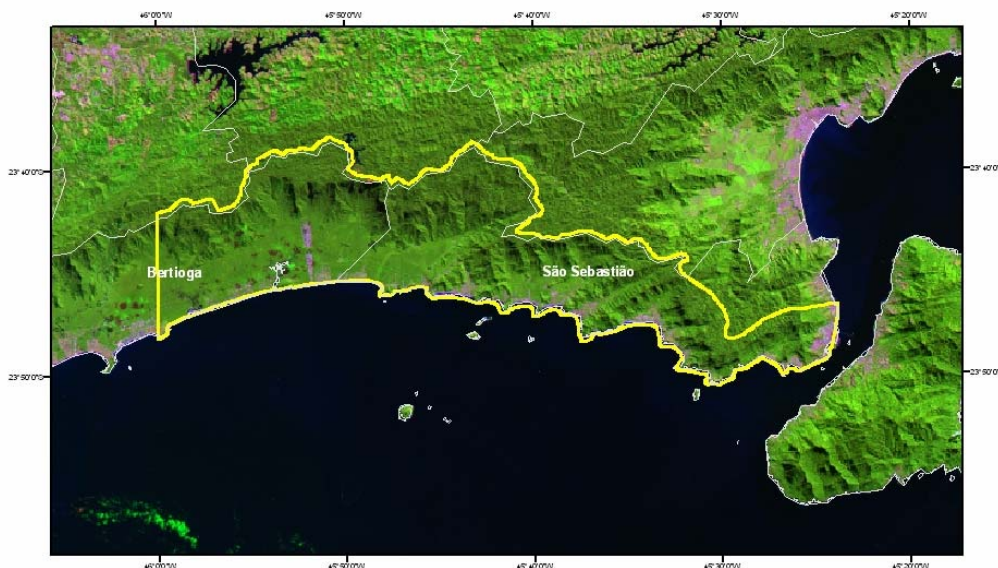


Figura 1: Localização da área

A empresa contratada (LACTEC) foi responsável pela geração dos seguintes produtos: nuvem de pontos em formato bruto (x, y, z) utilizando altitudes ortométricas; nuvem de pontos (primeiro e último pulso) por faixa de voo para subsidiar a verificação de erros sistemáticos; MDT uniformemente espaçado, filtrando pequenos obstáculos naturais, edificações e vegetação, em Geotiff; MDE uniformemente espaçado em Geotiff; e o mosaico georreferenciado das imagens digitais.

2.1 Trabalhos de Campo

Na determinação das coordenadas dos pontos de campo foi utilizado o sistema GPS, adotando-se o processo relativo estático. Esse processo consiste em rastrear dados transmitidos pelos satélites com um receptor em um marco geodésico (master) e outro nos pontos a serem determinados, simultaneamente. Os dados armazenados são processados posteriormente com a utilização de software específico (pós-processamento).

Buscou-se a melhor distribuição possível na área dos pontos identificáveis nas imagens, tentando, sempre que possível, cobrir áreas com diferentes altitudes e declividades.

Inicialmente, foi implantada uma Rede de Vértices Geodésicos de Apoio determinada a partir da Rede GPS do IBGE, mais especificamente, a partir do vértice **SAT 91606** situado em Praia Grande. A determinação das coordenadas dos pontos de interesse foi realizada a partir dessa rede implantada.

Para se utilizar o referencial altimétrico oficial, as altitudes calculadas através de posicionamento por GPS dos pontos identificáveis foi acrescida da ondulação geoidal, obtida através da média das 4 RNs (Referências de Nível) mais próximas, as mesmas utilizadas para a geração dos produtos pela empresa LACTEC.

2.2 Análise da Planimetria

As ortofotos do LIDAR utilizadas na avaliação são compostas por 52 imagens, cujo mosaico final, com a distribuição dos pontos de checagem, é apresentado na figura 2.

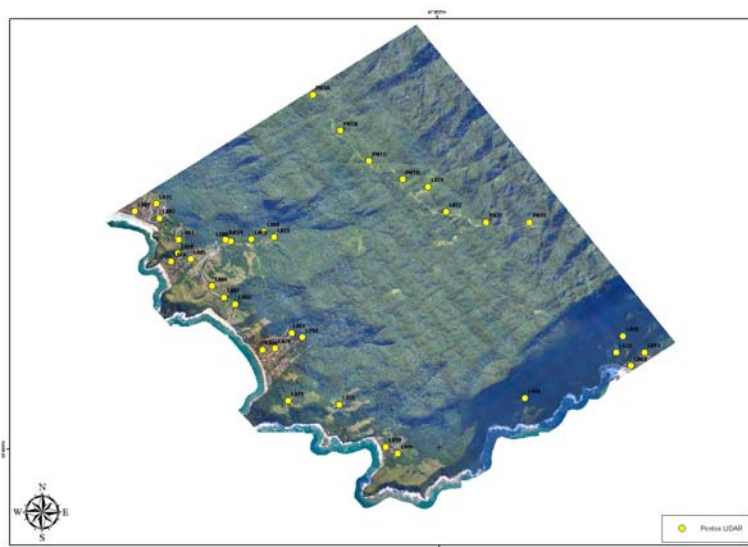


Figura 2: Distribuição dos pontos de checagem sobre o mosaico de ortofotos

Para avaliação da exatidão planimétrica foram utilizados 29 pontos identificáveis nas ortofotos (figura 3). As coordenadas destes pontos são comparadas com suas homólogas nas ortoimagens e a diferença entre elas calculada, obtendo-se o deslocamento em cada um dos pontos.



Figura 3: Eixos auxiliares para avaliação planimétrica da ortofotos LIDAR

A avaliação final dos resultados considerou os limites estabelecidos pelo PEC (Padrão de Exatidão Cartográfica), que diz que pelo menos 90% dos pontos avaliados devem apresentar diferenças até a tolerância definida para cada escala. É preciso garantir, ainda, que o desvio padrão do total de pontos analisados seja inferior ao limite estabelecido para garantir que os pontos que ultrapassem a tolerância definida não estejam muito afastados da mesma. De acordo com os limites estabelecidos pelo PEC para avaliação da exatidão planimétrica, considerou-se, para a escala 1:2.000, os valores apresentados na tabela 1.

2.3 Análise da Altimetria

A avaliação da exatidão altimétrica foi efetuada sobre o MDS e o MDT gerados. Para esta análise foram utilizados 36 pontos, que incluíram a representação das partes mais elevadas da área. Alguns destes pontos foram utilizados apenas nesta avaliação, já que não eram bem identificados nas ortofotos.

Tabela 1: Limites planimétricos indicados pelo PEC

			1:2.000	
	Tol. (mm)	EMQ (mm)	Tol. (m)	EMQ (m)
Classe A	0,5	0,3	1	0,6
Classe B	0,8	0,5	1,6	1
Classe C	1,0	0,6	2	1,2

OBS: O Erro Médio Quadrático (EMQ) deve ser entendido como Erro ou Desvio Padrão.

De acordo com os limites estabelecidos pelo PEC para avaliação da exatidão altimétrica, foram consideradas as tolerâncias apresentadas na tabela 2.

Tabela 2: Limites estabelecidos pelo PEC

			1:2.000 Equidistância: 1m	
	Tol.	EMQ	Tol.(m)	EMQ (m)
Classe A	1/2 Eq.	1/3 Eq.	0,5	0,3
Classe B	3/5 Eq.	2/5 Eq.	0,6	0,4
Classe C	3/4 Eq.	1/2 Eq.	0,75	0,5

OBS: O Erro Médio Quadrático (EMQ) deve ser entendido como Erro ou Desvio Padrão.

A extração dos valores altimétricos a partir do MDS e do MDT foi feita diretamente através da função *Extract Values to Points*, do ArcGIS 9.3. Calculou-se a diferença entre as cotas obtidas no MDS e no MDT com o valor determinado em campo. As diferenças encontradas, em valores negativos ou positivos, foram comparadas com as tolerâncias estabelecidas para a escala 1:2.000. A avaliação final dos resultados, da mesma forma que para a planimetria, considerou o percentual exigido para aceitação segundo o PEC.

3. Resultados e Discussões

3.1 Análise dos Resultados da Planimetria

A análise da exatidão planimétrica efetuada sobre as ortofotos concluiu que **93,10%** dos pontos apresentam erro inferior a 1m (equivalentes a 27 pontos do total de 29), com erro padrão de 0,3m, validando o seu uso para a escala 1:2.000, Classe A.

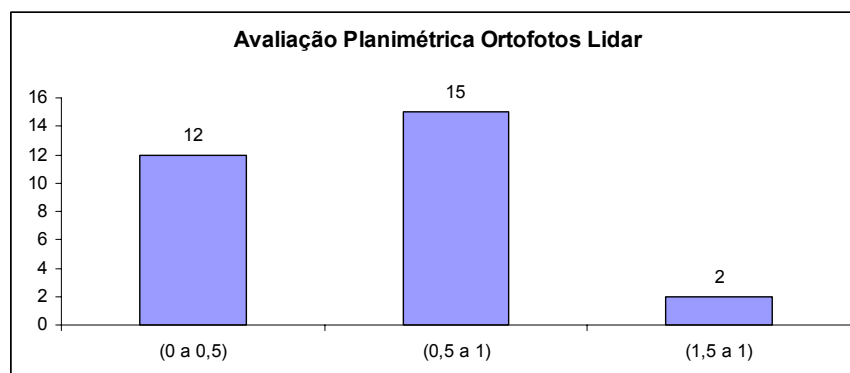
O gráfico 1 apresenta a frequência de pontos por intervalo de erros estabelecidos pelos limiares de tolerância das diferentes escalas, facilitando assim a observância dos percentuais alcançados.

3.2 Análise dos Resultados da Altimetria

Analisando a exatidão do **MDS**, concluiu-se que considerando as tolerâncias estabelecidas, apenas 77,8% dos pontos atendem ao PEC na classe A da escala 1:2.000 (0,5m). Mesmo considerando-se as classes B e C, somente 80,6% dos pontos enquadram-se nos limites estabelecidos (0,6 e 0,75 m). O Erro Médio Quadrático

calculado (0,73m) também está acima dos limites estabelecidos pelo PEC, inclusive para a Classe C da escala 1:2.000 (0,5 m).

Gráfico 1: Distribuição das frequências dos erros obtidos por limiar estabelecido pelas tolerâncias do PEC.



<i>Classe</i>	<i>Intervalo (m)</i>	<i>Frequência</i>
1	(0 a 0,5)	12
2	(0,5 a 1)	15
3	(1 a 1,5)	2

Desta forma o MDS passa a ser indicado para a escala **1:5.000, classe C**, com **91,66%** dos pontos aceitos (tabelas 3 e 4).

Tabela 3: Limites estabelecidos pelo PEC

		1:5.000 Equidistância: 2m	
	Tol.	EMQ	
			Tol.(m) EMQ (m)
Classe A	1/2 Eq.	1/3 Eq.	1,0 0,7
Classe B	3/5 Eq.	2/5 Eq.	1,2 0,8
Classe C	3/4 Eq.	1/2 Eq.	1,5 1,0

Tabela 4: Resultados para a escala 1:5000 (PEC)

PEC	Tol.	EMQ	Tol.(m)	EMQ (m)	Pontos	Percentual Observado	Desvio Padrão = 0,7205
Classe A	1/2 Eq.	1/3 Eq.	1	0,7	29	80,55%	Não atende
Classe B	3/5 Eq.	2/5 Eq.	1,2	0,8	30	83,33%	Não atende
Classe C	3/4 Eq.	1/2 Eq.	1,5	1	33	91,66%	Atende

A altitude da área não parece ser problema para o LIDAR visto que os maiores resíduos ocorreram em áreas de baixas a médias altitudes. Os pontos localizados nas áreas mais elevadas tiveram resíduos dentro da média.

Observou-se uma pequena tendência nos resultados, visto que a média dos resíduos ficou em 0,27m e a soma dos resíduos foi de 9,68m. Há, portanto, um pequeno shift positivo, indicando que o MDS apresenta valores de altitude um pouco maiores do que os observados em campo. As maiores diferenças – entre 1,0 e 2,6m, observadas em 7 pontos – parecem ocorrer com maior expressão nas áreas mais baixas.

Na análise do MDT, considerando-se a tolerância de 0,50m para a escala 1:2.000 (classe A), verificou-se que não se alcança, formalmente, esta classe, pois apenas 88,88% dos pontos (32 em um total de 36) apresentam valores abaixo deste limite. O desvio padrão calculado (0,4m) também ficou acima do especificado para a classe A desta escala (limiar de 0,3m). Deve-se considerar, porém, que os valores alcançados estão próximos do patamar de 90%, sendo interessante investigar levantamentos em outras áreas. De qualquer forma, considerando-se a tolerância para 0,6m (classe B), **91,6%** dos pontos ficam dentro deste limiar, atendendo perfeitamente ao especificado para a **Classe B da escala 1:2.000**, inclusive quanto ao desvio padrão.

Não foram encontrados indícios de tendência nos resultados. A média dos resíduos foi de 0,01m. A figura 4 apresenta, em uma representação 3D, o MDS e o MDT gerados. Em uma análise visual rápida pode-se perceber uma maior rugosidade no MDS, causada pela presença da floresta. O grande detalhamento do modelo possibilita a percepção de pequenas diferenças no dossel (ver detalhe no perfil). Em continuidade a estes estudos objetiva-se testar a diferença entre os dois modelos (MDS e MDT) e a acuidade para a definição de altura de árvores, em apoio a estudos que necessitem da quantificação de biomassa, ou ainda de uma maior caracterização da vegetação, como é o caso dos estágios sucessionais.

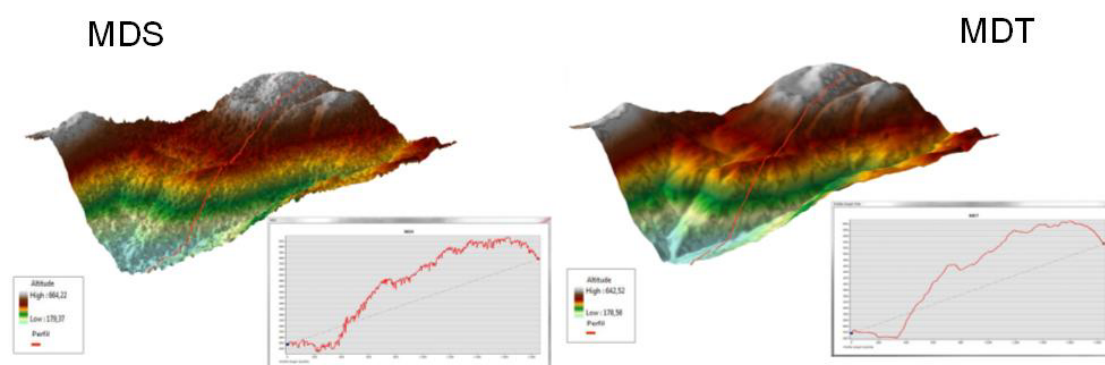


Figura 4: Visualização 3D do MDS e MDT gerados

4. Conclusões

As análises efetuadas sobre os produtos oriundos do LIDAR indicaram a sua adoção para as escalas 1:2.000 (classe A para as ortofotos e classe B para o MDT) e 1:5.000 (classe C para o MDS). É importante ressaltar que a área levantada possui características de um relevo bastante movimentado, sendo importante que novas áreas, com características diferenciadas, também sejam avaliadas de modo a se ter uma indicação de uso mais abrangente.

Esses resultados ficaram aquém do especificado para a altimetria. Um fator considerado surpreendente foi o resultado do MDS ter sido inferior ao do MDT. Como os pontos de avaliação foram determinados em áreas sem cobertura vegetal e a nuvem de pontos original do MDS é mais densa que a do MDT, esperava-se que o primeiro tivesse, no mínimo, um comportamento similar ao do segundo. Os resultados da planimetria também foram considerados surpreendentes, só que por razões contrárias. Atendeu-se à escala especificada apesar de ter sido utilizada uma câmera não métrica.

É preciso destacar que mesmo não tendo atingido os valores especificados para a exatidão altimétrica, os resultados encontrados são muito bons, já que sempre apresentaram diferenças de altitude menores do que 2 metros quando comparados com os valores determinados em campo. A exceção ocorreu em apenas em 1 ponto na avaliação do MDS, que apresentou uma diferença, positiva de 2,58m.

Ainda com relação à avaliação altimétrica, estão sendo feitas análises a partir de pontos obtidos embaixo do dossel da floresta, de forma a se poder avaliar a exatidão efetiva do MDT em áreas com cobertura florestal.

É fato que uma quantidade e variedade crescentes de sensores remotos, aéreos e orbitais, tem oferecido ao usuário uma gama de soluções para diferentes aplicações, considerando precisões e detalhamentos diversos. O problema é que a velocidade com que tais produtos vêm sendo disponibilizados para aquisição é de longe superior a nossa capacidade de testá-los mediante as propostas veiculadas junto ao seu fornecimento. Desta forma, se faz premente que tais análises sejam efetuadas e, mais do que isto, estruturadas de modo a que consultas possam ser realizadas em prol de uma tomada de decisão coerente com as necessidades de cada estudo.

Referências Bibliográficas

BARROS, R. S. & CRUZ, C. B. M. (2007). **Avaliação da Altimetria do Modelo Digital de Elevação do SRTM**. In: XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Florianópolis – SC. Pp.

BARROS, R. S. (2006). **Avaliação de Modelos Digitais de Elevação Obtidos a partir de Sensores Orbitais**. Tese de Doutorado. IGEO/UFRJ. Rio de Janeiro.

FERNANDES, M. C. (2004). **Desenvolvimento de Rotina de Obtenção de Observações em Superfície Real: uma aplicação em Análises Geoecológicas**. Tese de Doutorado. IGEO / UFRJ

GONÇALVES, G. A.; da SILVA, C. R.; MITISHITA, E. A. (2005). **Comparação dos Dados do SRTM com as RNs da Rede Geodésica Altimétrica do IBGE para Região Sul do Brasil**. In: IV Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas. Curitiba – PR.

TAVARES, D. L. M. **Estereoscopia**. Seminário da disciplina Computação Gráfica. UFRGS. Site: www.inf.ufrgs.br/cg/cmp143/2007. Acesso em 30/03/2008.

TOMMASELLI, A. M. G. & SANTOS, D. R. (2000). **Uma Estratégia para Extração Semi-Automática de Feições com Análise do MNE**. In: Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário. Florianópolis.

TOUTIN, T & GRAY, L. (2000). **State-of-Art of Elevation Extraction from Satellite SAR Data**. Endereço FTP: <ftp://ftp.nrcan.gc.ca/gn1da18ud6us9v3fkn14.pdf>. Último Acesso: 15/07/2006.

SANTOS, P. R. A. (2005). **Avaliação da Precisão Vertical dos Modelos SRTM em Diferentes Escalas: Um Estudo de Caso na Amazônia**. Dissertação de Mestrado. IME. Rio de Janeiro.