

Revista Brasileira de Cartografia (2013) N^o 65/4: 695-702
Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto
ISSN: 1808-0936

VALIDAÇÃO DE MODELO DIGITAL DE TERRENO EM ÁREA FLORESTAL COM RELEVO ONDULADO, GERADO A PARTIR DE DADOS LIDAR

Validation of Digital Terrain Model in a Mountain Forest Area, Generated from LiDAR Data

**Rodrigo de Campos Macedo, João Roberto dos Santos
& João Viane Soares**

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE
Coordenação de Observação da Terra – OBT
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil
{macedo, jroberto, viane} @dsr.inpe.br

Recebido em 02 de outubro, 2012/ Aceito em 23 de janeiro, 2013
Received on October 02, 2012/ Accepted on January 23, 2013

RESUMO

Este artigo considerou a hipótese de que o erro altimétrico do MDT obtido com LiDAR é compatível com a tolerância de 0,50 m em uma área florestal com relevo ondulado. O objetivo foi validar o MDT utilizando dados de campo como referência. A área de estudo é uma plantação de eucalipto para produção de celulose, localizada em Igaratá, São Paulo. O levantamento de campo teve como finalidade principal a obtenção de dados de referência para a validação do MDT, em quatro situações distintas: i) plana e sem cobertura florestal; ii) plana e com cobertura florestal; iii) com declividade e sem cobertura florestal e, iv) com declividade e com cobertura florestal. Os erros posicionais obtidos foram 0,12 m nas coordenadas XY e 0,21 m na coordenada Y, satisfatórios para a validação desejada. Por meio de um levantamento aéreo foi obtida uma nuvem de pontos tridimensionais, os quais foram filtrados e classificados como terreno. Após isto, os pontos foram reamostrados em uma grade regular, utilizando interpolação linear. A validação foi realizada com perfis longitudinais, utilizando o RMSE (Root Mean Square Error) como uma medida estatística do erro. Na situação mais complexa (declividade e cobertura florestal), o RMSE foi 0,50 m. Isto é explicado pelos detalhes presentes no micro-relevo, como buracos, valas, galhos, troncos etc. A hipótese inicial foi aceita, ou seja, o MDT obtido com dados LiDAR apresenta erro altimétrico aceitável para produção cartográfica utilizada no planejamento florestal.

Palavras chaves: Laserscanner, Modelo Digital de Elevação, Topografia.

ABSTRACT

This paper had used the hypothesis that the altimetric error of the LiDAR DTM is compatible with the 0.5m error tolerance, in a mountain forest. The purpose was validate the DTM using field data as reference. The study area is an eucalyptus plantation for pulp production, located on Igarata, São Paulo estate. The field survey had as main finality obtaining reference data for the DTM validation, on the four following situations: i) flat and without forest cover; ii) flat with forest cover; iii) slope and without forest cover and; iv) slope with forest cover. The final positional errors was 0.12m (XY coordinates) and 0.21m (Z coordinate), satisfactory to the desired validation. Through an airborne survey it

was obtained a 3D point cloud, which was filtered and classified as terrain; after that, the points were resampled in a regular grid, generating the DTM using linear interpolation. The validation was realized with longitudinal profiles, using the RMSE (Root Mean Square Error) as a statistical measure of error. At the most complex situation (slope and forest cover), the RMSE was 0.50m. This is explained by the microrelief details, like holes, ditches, branches, stumps, etc. The initial hypothesis was accepted, ie, the LiDAR DTM presents altimetric error acceptable to cartographic production used on forest planning.

Keywords: Laserscanner, Digital Elevation Model, Topography.

1. INTRODUÇÃO

O relevo é um elemento de extrema importância para a gestão e planejamento florestal, pois determina a declividade, o comprimento de rampa e a área de superfície. A declividade e o comprimento de rampa influenciam sobremaneira o tipo de uso de cada área, ou seja, se um determinado local deve ser conservado ou utilizado com finalidades econômicas e, neste caso, se é possível mecanizá-lo ou até mesmo que tipo de mecanização é possível. Além disso, a mensuração da área “real” de uma superfície ondulada (também chamada de área de superfície) deve ser diferenciada da área calculada com base em projeção plana, como pode ser visualizado na Figura 1 e formalizado na Equação 1. Em locais com relevo ondulado, esta diferença pode chegar a 15%, prejudicando atividades vinculadas ao planejamento florestal, tais como estimativa de quantidade de mudas e de fertilizantes e herbicidas a serem aplicados, ou até mesmo a extrapolação de biomassa madeireira (MACEDO, 2008).

$$AS = \frac{AP}{\cos d} \quad (1)$$

Onde: AS = Área de Superfície; AP = Área de Projeção Plana; d = declividade (radianos)

O relevo pode ser representado através de Modelo Digital de Elevação (MDE). Estes podem ser gerados a partir de dados topográficos, geodésicos, estereoscópicos (fotogramétricos ou radargramétricos), interferométricos e/ou de varredura laser (TOUTIN, 1999; PINHEIRO, 2006; LIU, 2008). Cracknell e Hayes (1987) revisaram diversos artigos para comparar fotogrametria, interferometria e varredura laser em áreas florestais e, concluíram que este último apresentou precisões mais altas, levantamentos mais rápidos, porém de maior custo. Baltsavias (1999), Brandalize (2005) e Zandoná (2006) fizeram comparativos com fotogrametria, citando algumas

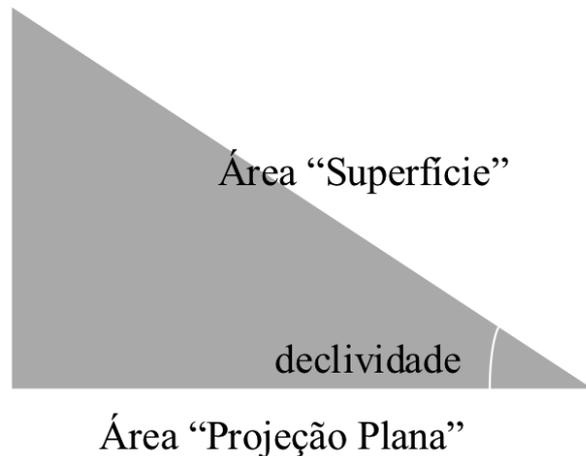


Fig.1 - Diferenciação entre área de superfície e área de projeção plana.

vantagens da varredura laser, tais como amostragem satisfatória em áreas com vegetação densa e aquisição direta de coordenadas tridimensionais XYZ. Behera e Roy (2002), comparando RaDAR e LiDAR, comentam sobre as vantagens do LiDAR para mensuração de distâncias nos pulsos com alta energia, que podem ser emitidos em curto intervalo de tempo.

O modelo digital que representa o terreno independentemente de sua cobertura (construções, árvores, etc.) é chamado de Modelo Digital de Terreno (MDT). Quando gerado com LiDAR apresenta erro altimétrico nominal em torno de 0,15 m em áreas planas, mas a cobertura florestal e a declividade podem aumentar substancialmente este erro (HARDING et al., 2001; ZANDONÁ et al., 2005). É necessário validá-lo com alguma referência, podendo esta ser coletada em campo ou a partir de MDT's previamente validados. A validação consiste em comparar os valores do MDT com os valores da referência altimétrica adotada. Um MDT com a medida de erro conhecida é muito importante, pois através dele podem ser derivados diversos produtos, tais como: curvas de nível (isolinhas), classes de declividade e de comprimento de rampa, rede de drenagem, alocação de estradas e

planejamento da mecanização em atividades florestais.

O erro máximo cartográfico tolerável para o planejamento florestal é 0,5 m. Diante deste cenário, o presente artigo partiu da hipótese que o MDT gerado a partir de dados LiDAR em relevo ondulado sob dossel arbóreo, é adequado para a elaboração das cartas necessárias ao planejamento florestal. O objetivo foi validar o MDT utilizando-se dados de campo como referência.

2. METODOLOGIA DE TRABALHO

2.1 Área de Estudo

A área de estudo deste trabalho foi escolhida por ser utilizada para plantação de eucaliptos, destinados à produção de pasta celulósica de fibra curta, localizada no município de Igaratá, Estado de São Paulo. A plantação de eucaliptos está localizada em uma fazenda ($23^{\circ}11'30", 46^{\circ}11'30"; 23^{\circ}10'00", 46^{\circ}09'30"$) que possui 267,98 ha de área total, sendo que 145,46 ha estão ocupados com eucaliptos, 61,35 ha destinados a Reserva Florestal Legal e 45,37 ha de Área de Preservação Permanente.

2.2 Procedimentos

A Figura 2 apresenta o esquema metodológico utilizado, diferenciando os insumos (dados primários e derivados), processos e produtos, salientando que a validação consiste em uma comparação estatística dos valores altimétricos presentes no MDT e nos perfis longitudinais mensurados em campo, utilizados como referência.

2.2.1 Levantamento de Campo

Como referência para a validação, optou-se pela instalação e mensuração de perfis longitudinais (DOWNMAN, 2004; ROSETTE et al., 2008; YUNFEI et al., 2008). Em relação ao desenho e procedimento amostrais, foram realizados transectos representativos de quatro situações distintas: i) sem cobertura arbórea e em nível; ii) sem cobertura arbórea e em desnível; iii) com cobertura arbórea e em nível e; iv) com cobertura arbórea e em desnível. Considerando a discussão de Jonas e Byrne (1999) sobre a influência negativa da presença de sub-bosque herbáceo na estimativa da modelagem de terreno, todos os perfis foram alocados em áreas sem a presença deste tipo de vegetação, restando apenas a declividade e a cobertura florestal como

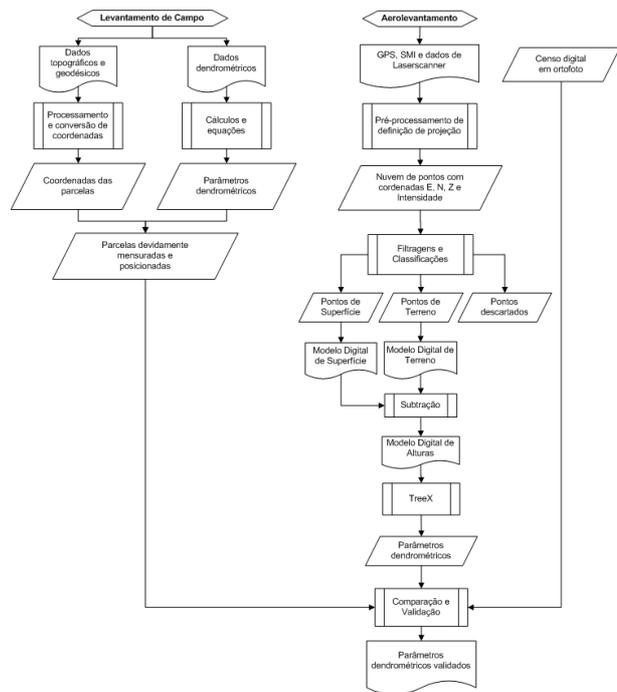


Fig. 2 - Fluxograma metodológico adotado.

influência significativa. Foram medidas as seguintes variáveis: a diferença de nível (utilizando-se nível óptico) e declividade (utilizando-se clinômetro de precisão) em cada ponto amostral ao longo dos transectos. O cálculo de cotas utilizou a abordagem de Veras (1997).

Para conhecer as coordenadas dos vértices dos perfis, foi realizada uma poligonal aberta (utilizando-se estação total). No processamento destas coordenadas foi utilizado o método de ajustamento por propagação de erros, proposto por Gemael (1994). Todos os erros foram ponderados e resultaram no erro final compatível com a validação pretendida (WRIGHT, 1982). Stumpf (1993) afirma que o erro posicional do transecto amostral e a rugosidade presente no micro relevo podem ser as maiores fontes de imprecisão durante o processamento dos resultados.

2.2.2 Aerolevamento

O sensor utilizado foi o Optech ALTM 2050 (50kHz), que atua na região espectral de 1064 nm com resolução radiométrica de 8 bits, 2 retornos registrados, com sistema de varredura com espelho oscilante (Z-Scan). O aerolevamento foi realizado a 1.000m de altura e utilizou os seguintes parâmetros: diâmetro do feixe de 0,25 m, frequência de varredura de 58,7 Hz, ângulo de varredura de 15°, largura de faixa de 263 m, percentual de

recobrimento de 30% e densidade de pontos de 5 pontos/m². Foram obtidos os seguintes valores de erros: 0,5 m na planimetria (1 sigma) 0,15 m na altimetria (1 sigma). O apoio planialtimétrico foi referenciado ao datum planimétrico SIRGAS2000 e altimétrico de Imbituba/SC, utilizando o sistema de projeção UTM. Foi estabelecida a base no aeroporto de São José dos Campos/SP.

2.2.3 Pré-Processamento

Após o aerolevanteamento, os dados primários são constituídos por parâmetros obtidos por três subsistemas: Laserscanner (tempo entre transmissão e recepção para cada alvo), GPS (tempo-GPS e coordenadas X, Y, Z) e SMI (ângulos alpha, phi, omega). Com o pré-processamento, são interpolados todos estes parâmetros e incorporados os parâmetros de calibração obtidos com a realização de vôos em direções opostas, alturas constantes e parâmetros de perfilamento conhecidos, de forma a anular os erros posicionais, gerando-se os dados brutos, ou seja, a nuvem de pontos com coordenadas tridimensionais e intensidade. Todo o pré-processamento foi realizado no aplicativo Terra Suite.

2.2.4 Filtragens e Classificações

A primeira filtragem realizada foi a eliminação de ruídos (outliers). Trata-se de alvos como nuvens e corpos d'água e demais pontos que prejudicaram a qualidade dos modelos gerados. Foram utilizados dois critérios: i) altimétrico – descartando-se todas os pontos com altitudes abaixo de 500 m e acima de 1.000 m; ii) radiométrico – descartando-se valores anômalos (SILVÁN-CÁRDENAS e WANG, 2006). Após a eliminação dos outliers, houve a necessidade de se classificar os pontos referentes ao terreno, separando-se os pontos que refletiram o chão dos pontos que refletiram os alvos presentes na superfície. Utilizou-se o classificador implementado no programa Terra Scan e recomendado por Axelsson (1999), por considerar valores originais da nuvem de pontos na geração dos modelos. A idéia básica desse classificador é a de que, para uma das diferenças de altura entre dois pontos, a probabilidade do ponto mais alto não pertencer ao terreno aumenta com a diminuição da distância linear entre eles (SITHOLE e VOSSelman, 2003; 2004). A rotina de classificação é iterativa através da construção de modelos de superfícies triangulares temporários. O início da rotina ocorre com a seleção de alguns pontos baixos, assumindo como premissa

que estes pontos tocam o terreno. Esta seleção inicial utiliza um parâmetro chamado “área máxima construída”, no qual pelo menos um ponto toca a superfície do terreno, sendo este ponto o mais baixo dentro desta área. O algoritmo requer outros parâmetros, tais como ângulo e distância de iteração, que podem ser visualizados na Figura 3.

O valor utilizado para o ângulo do terreno foi compatível com o ângulo de varredura adotado no aerolevanteamento. Os demais parâmetros foram definidos experimentalmente com base na análise visual dos resultados de diversos testes de filtragem (LOCH et al, 2004; SOININEN, 2005) e podem ser visualizados na Tabela 1.

Os pontos devidamente classificados como terreno foram reamostrados em uma grade regular (raster), utilizando interpolação linear com tamanho de célula de 0,25 m, compatível com a densidade de pontos/m². Após a geração do MDT foram imprescindíveis a análise e a edição manual, visando eliminar erros que se mantiveram após as filtragens.

2.2.5 Validação

A validação do MDT foi realizada com os dados provenientes dos perfis longitudinais, utilizando o RMSE (Root Mean Square Error) como medida estatística da magnitude do erro (STEEL & TORRIE, 1960; DeGROOT, 1975; BERMEJO & CABESTANY, 2011; BC-CARMS, 2006).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

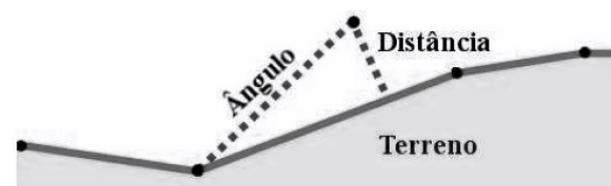


Fig.3 - Parâmetros de ajuste para classificação de pontos que representarão o terreno.

TABELA 1 - PARÂMETROS E VALORES DA CLASSIFICAÇÃO DE PONTOS DE TERRENO.

Parâmetro da Classificação	Valor
Ângulo do terreno	15°
Tamanho máximo das “construções”	4m ²
Distância de iteração	1 m

Foram implantados 170 pontos de apoio, sendo os dois primeiros correspondentes a pontos de apoio DGPS. Na Figura 4 é possível visualizar a localização dos perfis.

Para os perfis 1 e 3 (em nível) foram cotados pontos a cada 10 m. Já para os perfis 2 e 4 (desnível) houve a necessidade de cotar pontos a cada 2,5 m, devido à impossibilidade de se realizar visada morro acima no ponto inicial da régua topográfica. A Tabela 2 expressa as medidas dos perfis longitudinais.

A alta variação na declividade medida nos pontos cotados indica a relevância das características presentes em detalhes da escala fina de análise (micro-relevo), mostrando que a exatidão posicional planimétrica influencia a exatidão posicional altimétrica, característica agravada pelo fato de existir pequenas variações tais como troncos e galhos caídos, buracos, sulcos e voçorocas que podem comprometer a comparação entre os dados de campo e o MDT. As coordenadas dos vértices dos perfis foram devidamente transportadas através de cálculo de azimutes de cada

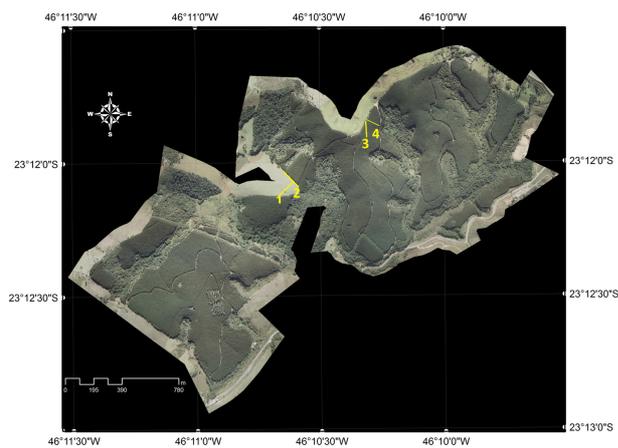


Fig.4 - Localização dos perfis topográficos, sendo: 1 – sem cobertura arbórea, em nível; 2 – sem cobertura arbórea, em desnível; 3 – com cobertura arbórea, em nível; 4 – com cobertura arbórea, em desnível.

TABELA 2 - MEDIDAS DOS PERFIS LONGITUDINAIS.

Perfil	Comprimento (m)	Desnível (m)	Declividade (°)		
			Média	Máx.	Mín.
1. Sem cobertura, em nível	90.00	-6.69	3.93	5.50	1.70
2. Sem cobertura, em desnível	137.50	-66.89	19.19	31.10	2.00
3. Com cobertura, em nível	100.00	16.89	5.30	9.80	0.70
4. Com cobertura, em desnível	87.50	-47.00	18.25	27.80	6.80

ponto. O erro planimétrico médio foi de 0,12m e o altimétrico foi de 0,21m, compatíveis com a validação pretendida.

A filtragem/classificação dos pontos pertencentes ao terreno foi avaliada a partir do conhecimento prévio de campo e a visualização de feições, tais como uma estrada de terra e um curso d'água. Doze por cento do total de pontos foram classificados como terreno, resultado direto da atenuação causada pelas copas das árvores. Este grande volume de pontos filtrados como dossel é comum em trabalhos na área florestal (PFEIFER et al, 1999; GONC'ALVES-SECO et al., 2006; KOBLER et al, 2007). Na Figura 5 é possível visualizar o MDT gerado, com valores altimétricos compatíveis com a região estudada.

Na Figura 6 há a comparação do MDT derivado do LiDAR com os 4 perfis longitudinais obtidos através do levantamento topográfico e os resultados numéricos estão expressos na Tabela 3.

Na situação mais complexa (com cobertura e em desnível), o RMSE obtido foi de 0,50 m. É

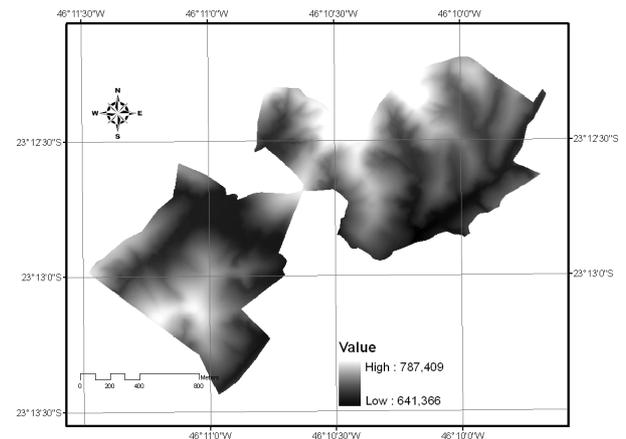


Fig. 5 - Modelo Digital de Terreno gerado a partir da varredura laser.

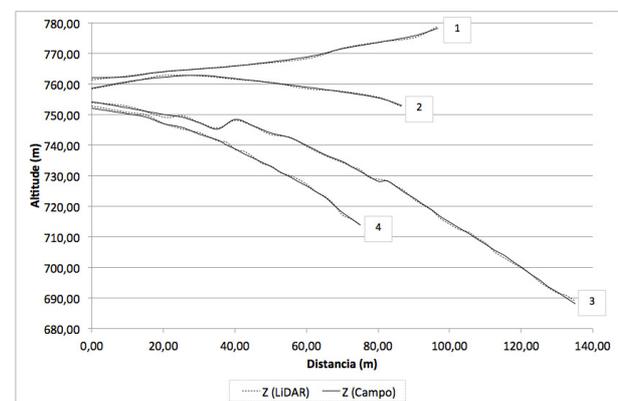


Fig. 6 - Comparação entre os perfis topográficos e o MDT.

TABELA 3 - RESULTADOS DA COMPARAÇÃO ENTRE PONTOS COTADOS EM CAMPO E EXTRAÍDOS DO MDT.

Perfis	Campo	MDT	RMSE (m)		
	Cota (m)		Cota (m)		
	Mínima	Máxima	Mínima	Máxima	
1. Sem cobertura arbórea, em nível	752.93	762.81	752.49	762.75	0.33
2. Sem cobertura arbórea, em desnível	688.10	754.21	689.00	754.03	0.47
3. Com cobertura arbórea, em nível	761.99	778.19	761.26	778.86	0.44
4. Com cobertura arbórea, em desnível	713.83	752.08	713.90	752.87	0.50
Média					0.44

importante frisar que os locais escolhidos para a instalação dos perfis não continham vegetação herbácea, que pode ser um fator de erro relevante para áreas florestais com sub-bosque.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo proposto foi atingido, ressaltando que a diferença entre o MDT gerado e a referência de campo não excedeu os 0,50 m de erro tolerável requerida para a confecção das cartas utilizadas em planejamento florestal. Diante dos resultados apresentados, aceita-se a hipótese inicial, ou seja, o MDT gerado a partir de dados LiDAR apresenta erro altimétrico satisfatório para as demandas presentes no gerenciamento e planejamento florestal.

Sugere-se uma avaliação econômica do uso desta tecnologia no setor florestal, contemplando a cadeia de custos do planejamento florestal como um todo, ou seja, cartas temáticas, planejamento de estradas, de corte/baldeio, atualização cadastral de informações como área, declividade e perímetro e, inventário florestal.

AGRADECIMENTOS

CAPES, Fibria Celulose e Papel, Lactec, Dr. Edson Aparecido Mitishita (UFPR), Paulo César Gurgel de Albuquerque e “Coimbra” (ambos do INPE).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AXELSSON, P. Processing of laser scanner data/ algorithms and applications. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 54, n. 2/3. p. 138-147. 1999.
- BALTSAVIAS, E. P. A comparison between photogrammetry and laser scanning. **ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing**, n. 54. p. 83–94. 1999.
- BC-CARMS. **LiDAR: overview of technology, applications, market features and industry**. Victoria, BC: Centre for Applied Remote Sensing, Modelling and Simulation, University of Victoria. 2006.
- BEHERA, M. D.; ROY, P. S. Lidar remote sensing for forestry applications: The Indian context. **Current Science**, v. 83, n. 11. p. 1320 – 1329. 2002.
- BERMEJO, S.; CABESTANY, J. Oriented principal component analysis for large margin classifiers. **Neural Networks**, v. 14, n. 10, p. 1447–1461. 2011.
- BRANDALIZE, A. A. **Perfilamento a LASER : Comparação com Métodos Fotogramétricos**. Nota Técnica: Fotogrametria. ESTEIO Engenharia e Aerolevantamentos S.A. 2005.
- CRACKNELL, A. P.; HAYES, L. W. B. **Remote Sensing Yearbook**. Taylor & Francis. London. 1987. 690p.
- DEGROOT, H. M. **Probability and Statistics**. Addison-Wesley Publishing Company, 1975.
- DOWMAN, I. Integration of LiDAR and IfSAR for mapping. XXth ISPRS Congress. Technical Commission, Istanbul, Turkey. **Proceedings**. ORHAN, A. (Ed.). ISPRS Archives, v. XXXV, part B2, 2004.
- GEMAEL, C. **Introdução ao ajustamento de observações**. UFPR. Curitiba/PR. 1994.
- GONC' ALVES-SECO, L.; MIRANDA, D.; CRECENTE, F; FARTO, J. Digital terrain model generation using airborne LiDAR in a forested area Galicia, Spain. In: 7th International symposium on spatial accuracy assessment in natural resources and environmental sciences, Lisboa, Portugal. **Proceedings**. p. 169–180. 2006.

- HARDING, D. J.; LEFSKY, M. A.; PARKER, G. G.; BLAIR, J. B. Laser altimeter canopy height profiles. Methods and validation for closed-canopy, broadleaf forests. **Remote Sensing of Environment**, v. 76. p. 283-297. 2001.
- KOBLER, A.; PFEIFER, N.; OGRINC, P.; TODOROVSKI, L.; OSTIR, K.; DZEROSKI, S. Repetitive interpolation: a robust algorithm for DTM generation from aerial laser scanner data in forested terrain. **Remote Sensing of Environment**, v. 108, p. 9-23. 2007.
- LIU, X. Airborne LiDAR for DEM generation: some critical issues. **Progress in Physical Geography**, v. 32, n. 1. p. 31-49. 2008.
- LOCH, R. E. N.; VARGAS, R. M. A.; SCHÄFER, A. G. Filtragem e classificação de pontos laser scanner utilizando o software Terrascan. In: **Geodesia online**, n. 4. 2004. Disponível em: <<http://geodesia.ufsc.br/Geodesia-online/arquivo/2004/04.1/>>. Acesso em: 15 dez. 2008.
- MACEDO, R. C. Modelo digital de elevação e sua importância em inventários florestais. In: I Seminário Nacional sobre Dinâmica de Florestas, 2008, Curitiba. **Anais**. EMBRAPA, 2008.
- PFEIFER, N.; REITER, T.; BRIESE, C.; RIEGER, W. Interpolation of high quality ground models from laser scanner data in forested areas. **International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, v. 32 (3/W14), p. 31-36. 1999.
- PINHEIRO, E. S. Comparação entre dados altimétricos Shuttle Radar Topography Mission, cartas topográficas e GPS: numa área com relevo escarpado. **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 58, v. 01. 2006.
- ROSETTE, J.; NORTH, P.; SUAREZ, J.; LOS, S. Representation of vegetation and topography within satellite LiDAR waveforms for a mixed temperate forest. Edinburgh, UK, SilviLaser 2008. **Proceedings**. 2008.
- SILVÁN-CÁRDENAS, J. L.; WANG, L. A multi-resolution approach for filtering LiDAR altimetry data. **ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing**, v. 61. p. 11-22. 2006.
- SITHOLE, G.; VOSSelman, G. **Comparison of Filters**. Report: ISPRS Commission III, Working Group 3. 29p. 2003.
- SITHOLE, G.; VOSSelman, G. Experimental comparison of filter algorithms for bare-Earth extraction from airborne laser scanning point clouds. **ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing**, v. 59. p. 85-101. 2004.
- SOININEN, A. **TerraScan User's Guide**. Terrasolid. Finland. 2005. 169p.
- STEEL, R. G. D.; TORRIE, J. H., **Principles and Procedures of Statistics with Special Reference to the Biological Sciences**. McGraw Hill, p. 228, 1960.
- STUMPF, K. A. The estimation of forest vegetation cover descriptions using a vertical densitometer. In: Joint Inventory and Biometrics Working Groups session at the SAF. **Proceedings**. National Convention, Indianapolis, IN. 1993.
- TOUTIN, T. Map making with remote sensing data. In: Advanced Research Workshop on Remote Sensing for Environmental Data in Albania: A Strategy for Integrated Management (NATO), 1999, Tirana, Albania. **Proceedings**. 1999. p. 65-87.
- VERAS, R. de C. **Topografia: Roteiro para cálculo de uma poligonal. Método Analítico**. Universidade Federal do Piauí. Teresina/PI. 1997. 52p.
- WRIGHT, J. **Ground and air survey for Field Scientists**. Clarendon Press. Oxford. 1982. 327p.
- YUNFEI, B.; GUOPING, L.; CHUNXIANG, C.; XIAOWEN, L.; HAO, Z.; QISHENG, H.; LINYAN, B.; CHAOYI, C. Classification of LiDAR point cloud and generation of DTM from LiDAR height and intensity data in forested area. **The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, v. XXXVII, part B3b. Pequim, 2008.
- ZANDONÁ, D. F. **Potencial uso de dados Laserscanner aerotransportado para estimativa de variáveis dendrométricas**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Paraná. Curitiba/PR. 2006. 92p.
- ZANDONÁ, D. F.; LINGNAU, C.; MÜLLER, M.; MARTINS, M. A. R. Avaliação da precisão altimétrica

do mapeamento digital a laser em áreas de cobertura vegetal densa In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12. (SBSR), 2005, Goiânia. **Anais**. São José dos Campos: INPE, 2005.

p. 757-762. CD-ROM, On-line. ISBN 978-85-17-00031-7. Disponível em: <<http://urlib.net/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.14.21.45>>. Acesso em: 14 dez. 2008.