

## Avaliação de modelos digitais de terreno derivados dos dados de varredura a *laser* em área de floresta alterada da Amazônia.

Rosane Maciel de Araújo Vargas<sup>1</sup>  
Ruth Emília Nogueira Loch<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro - UFRRJ  
Rodovia BR 465, km 07 – 23890-000 Seropédica/RJ  
rosvargas@ufrj.br

<sup>2</sup>Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC  
Campus Universitário – Trindade - 88040-900 Florianópolis SC  
ruthenogueira@gmail.com

### Abstract.

In forests, ground points 3D coordinates have been obtained by sensors such as the ones from radar, the photogrammetric ones or by topography equipment. In this research, coordinates of points of the modified forest of the District of Iranduba (AM) obtained by sensor *laser* ALTM 2025 were used aiming primarily at evaluating the positional quality of Digital Terrain Models (DTM). The area presents different types of vegetation and relief, where training areas were defined. The data were obtained by through the filtering of vegetation points in the TerraScan™. The surfaces derived from laser scanner data were compared to the surface of reference obtained with topography points. The evaluations considered the relief and the vegetation of the training areas and showed that Digital Terrain Models (DTMs) derived from laser scanner data present precision (average standard error) between 0,50m and 1,0m in areas with 20% maximum inclination, vegetation with features of between very low and high density and trees up to 20m high. The largest average standard error was 1.5 m, obtained in areas with 47% maximum inclination, vegetation at an advanced stage of regeneration, with trees over 30m tall. The survey results, though varying with the type of sensor and flight parameters, provide an orientation about the precision for Digital Terrain Models derived from laser scanner data considering the characteristics of modified forest in the Amazon, on the basis that recommends its use to make environmental management projects in this region.

**Keywords:** 3D terrain models, laser scanner data, filtering of points, modelos tridimensionais de terreno, dados de varredura a *laser*, filtragem de pontos.

### 1. Introdução

Modelos Digitais de Terreno (MDTs) são fundamentais para o monitoramento de áreas com risco de inundação ou deslizamentos, constituindo um importante conjunto de dados para os Sistemas de Informação Geográfica (SIGs). A geração desses modelos implica na disponibilidade de um grande conjunto de dados espaciais de pontos do terreno com precisão, em geral, da ordem de décímetros ou centímetros. Em áreas cobertas por florestas, a obtenção destes dados precisa considerar o uso de sensores capazes de amostrar pontos do terreno situados abaixo da vegetação. Como exemplos de sensores usados para este fim estão os radares, os sensores fotogramétricos e, ainda, aqueles existentes nos equipamentos topográficos.

Um grande progresso na aquisição das coordenadas de pontos do terreno ocorreu no final do século XX com a introdução do sensor *laser* (*Light Amplification by Simulated Emission of Radiation*) a bordo de aeronaves. Assim, através de sistemas de varredura a *laser* aerotransportado (*Airborne Laser Scanner – ALS*), também conhecido pela sigla LIDAR (*“Light Detection And Ranging”*) são obtidas coordenadas tridimensionais de pontos. Uma das principais vantagens do *laser* é a sua capacidade de penetrar por entre os vazios da vegetação, podendo alguns de seus feixes alcançar o terreno abaixo das copas das árvores.

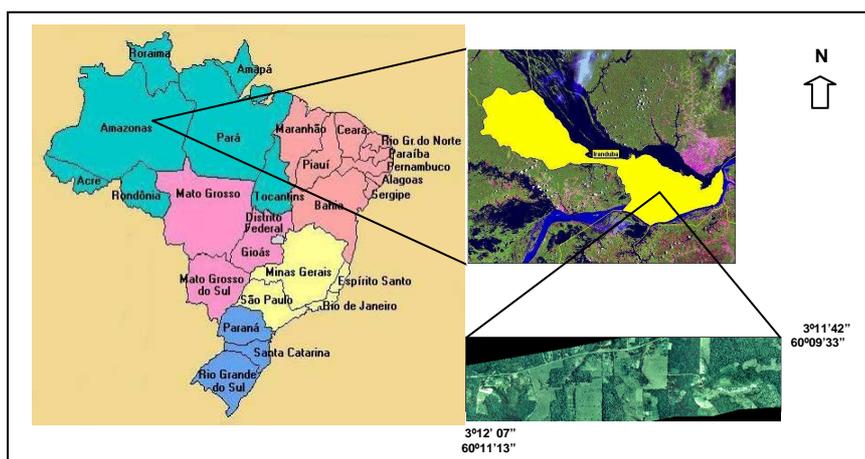
Outra vantagem é a precisão posicional da coordenada altimétrica que, de acordo com Maas (2002) e Haala e Brenner (1997) é em torno de 10 cm.

Apesar do feixe *laser* conseguir penetrar por entre vazios da vegetação, Pfeifer *et al* (2004) e Gorte *et al* (2005) indicam que o tipo de cobertura vegetal influencia na precisão das medições do *laser*, enquanto Yu *et al* (2005) citam a influência da vegetação nos resultados de MDTs. Isto porque as características fisionômicas da vegetação influenciam na densidade de pulsos que refletem no terreno. Na floresta amazônica, de acordo com a densidade do dossel, muitos pulsos poderão não penetrar na vegetação. E, devido aos sub-bosques e materiais como troncos, galhos, serrapilheiras e vegetação rasteira, aqueles pulsos que penetram poderão não alcançar o terreno.

Neste trabalho são obtidos Modelos Digitais de Terreno (MDTs) em uma área com vegetação da floresta ombrófila densa alterada da Amazônia com objetivo de avaliar a precisão altimétrica desses modelos.

## 2. Metodologia do Trabalho

A pesquisa foi realizada utilizando dados obtidos por uma varredura a *laser* ao longo de uma faixa de terra com aproximadamente 2,7km de extensão por 20m de largura no município de Iranduba (AM). A Figura 1 apresenta a localização geográfica da área.



**Figura 1.** Área de estudos

### 2.1 Dados da pesquisa

Foram utilizadas as coordenadas tridimensionais de pontos obtidos de uma varredura a *laser* sobre áreas da Amazônia e aquelas provenientes de levantamentos topográficos. O vôo para a varredura foi realizado em 2004 com objetivo de definir o traçado de um gasoduto entre as cidades de Manaus e Coari, no Estado do Amazonas. Os dados são de propriedade da empresa Petróleo Brasileiro S.A. O sensor utilizado foi o ALTM 2025. A altura de vôo foi de 1200m e a largura da faixa amostrada foi de 380m, gerando uma densidade de 0,80 pontos/m<sup>2</sup>. Os espaçamentos longitudinal e transversal foram aproximadamente iguais e com valor de 1,10m. O diâmetro do pulso projetado no terreno foi de 24,0cm. Os dados para formar os MDTs de referência foram as coordenadas de 417 pontos obtidos por levantamentos topográficos dispostos conforme apresentado na Figura 2.

Foram selecionadas 16 áreas amostrais com vegetação das classes Campo, Capoeira e Floresta Ombrófila Bosqueada em diferentes estágios de regeneração, apresentadas na Tabela 1. A classe Floresta Ombrófila Bosqueada foi separada segundo dois estágios de regeneração da vegetação: estágio 1 com alta densidade de vegetação de sub-bosque e, estágio 2 com maior densidade de vegetação nas camadas mais elevadas, como no dossel florestal.



**Figura 2.** Pontos dos levantamentos topográficos em seções.

**Tabela 1.** Classes da vegetação e quantitativo das áreas amostrais.

Classe da vegetação	Simbologia	Áreas amostrais (un)	Extensão (m)
Capoeira	CA	4	332,50
Floresta Bosqueada 2	BO2	3	964,00
Floresta Bosqueada 1	BO1	6	926,20
Campo	CM	3	489,90

Para cada área amostral foi medida a altura de três árvores: a mais alta, a mais baixa e aquela que mais acompanhava a altura da maioria das árvores, apresentadas na Tabela 2. O método usado para a medição destas alturas foi o da “Prancheta Dendométrica”, conforme Couto *et al* (1989) *apud* Vargas (2007).

As densidades de vegetação apresentadas na Tabela 2 foram obtidas por uma classificação proposta em Vargas (2007) que teve como base os resultados de filtragens e classificações dos dados de varredura a *laser* e que serão consideradas neste trabalho.

**Tabela 2.** Classes, alturas e densidades da vegetação consideradas no trabalho.

Área amostral	Classe da vegetação	Densidade de vegetação	Alturas da vegetação (m)		
			Média	Máxima	Dossel médio
1	CA	Baixa	2,0	5,0	2,5
2	BO2	Muito alta	8,0	26,0	10,0
3	BO1	Média	6,0	18,0	10,0
4	BO2	Alta	10,0	30,0	18,0
5	CM	Baixa	0,3	1,4	0,7
6	BO2	Alta	9,0	22,5	15,0
7	CM	Muito baixa	0,20	9,0	0,40
8	BO1	Muito alta	9,0	30,0	16,5
9	CA	Média	4,0	12,0	7,0
10	BO1	Alta	7,5	18,0	13,0
11	BO1	Alta	8,5	20,0	14,0
12	CM	Muito baixa	0,3	0,9	0,5
13	CA	Muito baixa	2,0	13,0	5,0
14	BO1	Alta	8,0	17,0	13,0
15	BO1	Média	9,0	21,0	13,0
16	CA	Média	2,0	14,0	4,0

Com o objetivo de facilitar a menção a cada área amostral, nas próximas tabelas elas serão identificadas por um número de ordem seguido da simbologia da classe de sua vegetação. Assim, por exemplo, a amostra 1 da classe Campo será representada por 1CM, enquanto que a amostra 2 da classe Floresta Bosqueada 2 ficará 2BO2.

## 2.2 Filtragem de pontos no Programa TerraScan™

De acordo com Axelsson (1999) e Wehr e Lohr (1999), a filtragem consiste na separação de pontos que pertencem à superfície do terreno daqueles localizados fora dessa superfície. Nesta pesquisa a filtragem foi realizada através do programa TerraScan™ que tem como base as diferenças de altura dos pontos. Os parâmetros usados basearam-se em testes anteriores realizados em Coelho e Vargas (2007). Na Tabela 3 são apresentados os valores utilizados.

**Tabela 3.** Inclinação do terreno e parâmetros da filtragem de pontos no TerraScan™

Área amostral	Inclinação máxima (%)	Parâmetros da Filtragem			
		Ângulo do Terreno (graus sexagesimais)	Tamanho máx. das construções (m)	Ângulo de iteração (graus sexagesimais)	Distância de iteração (m)
1CA	2	5	15	7	1,40
2BO2	11	5	15	7	1,40
		6	15	7	1,40
3BO1	11	5	15	7	1,40
		6	15	7	1,40
4BO2	47	5	10	7	1,40
		25	10	7	1,40
		5	10	7	1,40
		5	10	7	1,40
		5	10	7	1,40
		23	10	7	1,40
		5	10	7	1,40
5CM	5	5	15	7	1,40
6BO2	5	5	15	7	1,40
7CA	2	5	15	7	1,40
8BO1	2	5	15	7	1,40
9CA	2	5	15	7	1,40
10BO1	2	5	15	7	1,40
11BO1	19	5	15	7	1,40
		11	15	7	1,40
12CM	0	5	15	7	1,40
13CA	0	5	15	7	1,40
14BO1	0	5	15	7	1,40
15BO1	18	5	15	7	1,40
		15	15	7	1,40
16CA	18	15	15	7	1,40

### 2.3 Interpolação e geração de estatísticas no programa GRASS 6.2

O GRASS é um programa de código aberto, licenciado pela GNU (*General Public License - GPL*), estando seu uso e alterações permitidos para qualquer finalidade. Considerações gerais sobre seu uso podem ser encontradas nos trabalhos desenvolvidos por Coelho (2006) e por Vargas (2007).

As interpolações e a geração de estatísticas foram feitas através das rotinas: *v.surf.idw*, *r.mapcalc*, *r.univar* e *r.regression.line*. Com a *v.surf.idw* foram interpoladas as coordenadas através do método do inverso do quadrado da distância. Através da rotina *r.mapcalc* foi obtida a superfície resultante da diferença altimétrica entre o MDT derivado dos pontos de saída do TerraScan™ (MDT<sub>TS</sub>) e aquele modelo vindo dos pontos da topografia (MDT<sub>TOP</sub>). Com a rotina *r.univar* foram obtidos indicadores da estatística univariada, dentre eles os valores máximos e mínimos das células, a média aritmética, o desvio padrão e a variância da população. A proximidade entre os MDT<sub>TS</sub> e MDT<sub>TOP</sub> foi avaliada por uma regressão linear, através da rotina *r.regression.line*.

### 3. Resultados e Discussão

Na comparação entre os MDTs derivados dos dados da varredura *laser* (MDT<sub>TS</sub>) e os MDTs considerados referência para as avaliações (MDT<sub>TOP</sub>) obteve-se os valores apresentados na Tabela 4.

**Tabela 4.** Comparação entre MDT<sub>TS</sub> e MDT<sub>TOP</sub>.

Área amostral	Diferença em z entre MDTs (TS – TOP) (m)		Estatística computada (m)		
	Mín.	Máx.	Média	Desvio padrão	Variância
5CM	-0.040	0.732	0.436	0.118	0.014
7CM	-0.505	0.223	0.110	0.125	0.015
12CM	-0.257	0.347	0.025	0.102	0.010
1CA	0.151	0.565	0.341	0.066	0.004
9CA	-0.136	0.498	0.139	0.109	0.012
13CA	-0.282	0.666	0.188	0.127	0.016
16CA	-1.766	0.253	-0.485	0.547	0.300
3BO1	-0.198	1.345	0.852	0.271	0.074
8BO1	-0.262	2.282	0.907	0.649	0.422
10BO1	0.081	0.815	0.259	0.150	0.022
11BO1	-1.234	1.694	-0.019	0.525	0.275
14BO1	-0.402	0.700	0.119	0.225	0.051
15BO1	-1.298	3.579	0.451	0.698	0.487
2BO2	-0.902	3.737	0.917	1.109	1.230
4BO2	-7.931	6.510	0.914	1.527	2.331
6BO2	0.834	1.244	0.197	0.273	0.074

Algumas diferenças altimétricas (coluna das diferenças em z) apresentaram sinal negativo, significando MDT<sub>TS</sub> situado abaixo da superfície modelada como sendo o terreno. Esta ocorrência não deve ser interpretada como devida exclusivamente aos valores de altura dos pontos. É possível que todos os pontos originados dos dados da varredura *laser* tenham altura superior ou no mínimo igual aos pontos da topografia e, mesmo assim, tenham surgido esses valores negativos. Andersen *et al* (2003) citam que as interpolações dos dados e os



mais de 25m de altura e dossel florestal denso, tendo sido classificadas em muito alta densidade de vegetação (Tabela 2).

Analisando os resultados da Tabela 4 juntamente com os valores de inclinação do terreno das áreas amostrais, observou-se que esta variável foi a que mais influenciou na precisão dos MDTs, principalmente para valores maiores que 20% de inclinação.

As áreas amostrais com relevo plano foram as que apresentaram os MDTs mais precisos. Nessa classe de relevo, os resultados menos precisos foram das áreas com densidade de vegetação muito alta e árvores com mais de 20m de altura. Considerando as áreas com relevo entre ondulado e fortemente ondulado e com inclinação superior a 8%, foi observado que mesmo aquelas com baixa densidade e altura de vegetação apresentaram resultados tão imprecisos de MDTs quanto às áreas com maior densidade e altura de vegetação.

Na Figura 3 (b) onde é apresentada a variação entre o desvio padrão e a altura máxima da vegetação das áreas, observa-se que, assim como ocorreu com a variável inclinação do terreno, há uma tendência do desvio padrão dos resultados dos MDTs crescer juntamente com o aumento da altura da vegetação. Observa-se, no entanto, que as áreas 4BO2 e 8BO1, que possuem árvores com até 30 m de altura, apresentaram desvio padrão significativamente diferentes. Ressalta-se que a área amostral 4BO2 foi a que apresentou os trechos mais inclinados, o que provavelmente contribuiu para o aumento do valor do desvio padrão.

#### 4. Conclusões e Recomendações

O trabalho realizado consistiu em obter Modelos Digitais de Terreno derivados de dados de varredura a *laser* aerotransportado relativos a dezesseis áreas amostrais com diferentes tipos de vegetação da floresta alterada da Amazônia com objetivo de avaliar a precisão altimétrica desses modelos. É importante ressaltar que os resultados obtidos são válidos para o sensor ALTM 2025 e para os parâmetros de vôo e configurações do sistema ALS utilizados pela empresa de mapeamento. Deve ser considerado que a varredura a *laser* não foi realizada com propósito específico desta pesquisa, mas sim para atender ao projeto do Gasoduto Manaus-Coari.

Os resultados mostraram que, assim como o tipo e a densidade de vegetação, a inclinação do terreno influencia significativamente na modelagem do terreno. É importante salientar que a baixa precisão dos MDTs de áreas com até 47% de declividade podem ser devidos à baixa eficiência do filtro usado no programa TerraScan<sup>TM</sup> que, sendo baseado em diferenças altimétricas, tem dificuldade em distinguir quando referem-se aos pontos do *laser* e quando decorrem das variações do relevo. Recomenda-se para trabalhos futuros considerar outros métodos de filtragem como aquele apresentado em Peixoto e Centeno (2009).

Ressalta-se que os MDTs mais precisos foram obtidos nas áreas com trechos variáveis quanto à densidade e existência de dossel, o que contribuiu para o aumento da densidade de pontos que podem ter alcançado o terreno.

A pesquisa realizada vem de encontro a outros trabalhos direcionados a obter informações espaciais de extensas áreas de florestas com elevada rapidez e com o mínimo de impacto ambiental através de técnicas de sensoriamento remoto. Os resultados trazem uma orientação de valores de precisão alcançados por MDTs incentivando, assim, a sua obtenção e uso para compor projetos de gestão ambiental e territorial de áreas da Amazônia. Considerando a fase de anteprojetos de engenharia, este nível de detalhamento do relevo é suficiente para trabalhos como exploração de alternativas viáveis de traçado de estradas, dutos, entre outros.

#### Agradecimentos

Os autores agradecem à Empresa Petróleo Brasileiro S.A. (PETROBRÁS) pelos dados do trabalho, a empresa Esteio Aerolevantamentos S.A. pelo seu repasse, a Comissão de Aperfeiçoamento de Pessoal Docente (CAPES) do Ministério da Educação (MEC) e as

Universidades Federais do Amazonas (UFAM) e de Santa Catarina (UFSC) pelo financiamento da pesquisa e apoio em infra-estrutura.

### Referências Bibliográficas

Andersen, Hans-Erik, McGaughey, R. J., Carson W. W., Reutebuch, S. E., Mercer, B., Allan, J. A comparison of forest canopy models derived from Lidar and InSar data in a pacific northwest conifer forest. In: Proceedings of the ISPRS Symposium, 2003, Germany. Disponível em: <[www.isprs.org/proceedings/XXXIV/3-W13/papers/Andersen\\_ALSDD2003.pdf](http://www.isprs.org/proceedings/XXXIV/3-W13/papers/Andersen_ALSDD2003.pdf)>. Acesso em julho de 2007.

Axelsson, P. Processing of laser scanner data: algorithms and applications. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 54, n. 2-3, p. 138- 47, 1999.

Coelho A. H. Montagem de um SIG em *software* livre. In: VII Congresso de Cadastro Técnico Multifinalitário e Gestão Territorial, 2006, Florianópolis, Brasil. **Anais do VII Congresso de Cadastro Técnico Multifinalitário e Gestão Territorial**, Florianópolis: UFSC, 2006. Artigos. CD-ROM.

Coelho, A. H.; Vargas R. M. A. Geração de modelos digitais de terreno a partir de dados de *laser scanner* aerotransportado em área de floresta usando o *software* livre GRASS. In: XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2007, Florianópolis, Brasil. **Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, São José dos Campos: INPE, 2006. Artigos, p. 3653-3660. CD-ROM, On-line. ISBN 85-17-00018-8. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.15.13.15/doc/3653-3660.pdf>>. Acesso em: abril de 2006.

Gorte, B., Pfeifer, N., Elberink S.O. Height texture of low vegetation in airborne laser scanner data and its potential for DTM correction. In: Proceedings of the ISPRS Workshop on “Laser scanning 2005”, 2005, Netherlands. **Anais...** On-line. Disponível em: <[www.isprs.org/proceedings/XXXVI/3-W19/papers/150.pdf](http://www.isprs.org/proceedings/XXXVI/3-W19/papers/150.pdf)>. Acesso em junho de 2007.

Haala, G.; Brenner, C. Generation of 3D city models from airborne laser scanning data. In: EARSEL Workshop on LIDAR Remote Sensing of Land and Sea, 1997, Tallinn, Estonia. Disponível em <[http://www.earsel.org/SIG-CZ/3rd\\_workshop.html](http://www.earsel.org/SIG-CZ/3rd_workshop.html)>. Acesso em julho de 2007.

Maas, H. Methods for measuring height and planimetry discrepancies in Airborne Laser scanner data. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v. 68, n. 9, p. 933-940, 2002.

Peixoto, E. B..A. Centeno, J. A. S. Avaliação do uso de filtros morfológicos para obtenção de modelo digital do terreno e rede de drenagem a partir de dados LIDAR. In: XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2009, Natal, Brasil. **Anais do XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, São José dos Campos: INPE, 2009. Artigos, p. 5047-5054. CD-ROM, On-line. ISBN 85-17-00018-8. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.17.20.48.46/doc/5047-5054.pdf>>. Acesso em: novembro de 2010.

Pfeifer, N.; Gorte, B.; Elberink, S.O. Influences of vegetation on laser altimetry – analysis and correction approaches. In: Proceedings of the ISPRS Workshop on “Laser-Scanners for Forest and Landscape Assessment”, 2004, Freiburg, Germany. Disponível em: <[www.isprs.org/proceedings/XXXVI/8-W2/PFEIFER\(2\).pdf](http://www.isprs.org/proceedings/XXXVI/8-W2/PFEIFER(2).pdf)>. Acesso em julho de 2007

Vargas, R. M. A. Avaliação dos dados *laser scanner* para determinar modelos de terreno em áreas cobertas por floresta ombrófila densa alterada na Amazônia. 2007. 158 p. Tese (Doutorado em Cadastro Técnico Multifinalitário e Gestão Territorial) – Departamento de Engenharia Civil, PPGEC, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2007.

Yu X.; Hyppa H.; Kaartinen H.; Hyppa J.; Abokas, E.; Kaasalainen, H. Applicability of first pulse derived digital terrain models for boreal forest studies. In: Proceedings of the ISPRS Workshop on “Laser scanning 2005”, 2005, Netherlands. Disponível em: <[www.isprs.org/proceedings/XXXVI/3-W19/papers/097.pdf](http://www.isprs.org/proceedings/XXXVI/3-W19/papers/097.pdf)>. Acesso em maio de 2007.

Wehr, A.; Lohr, U. Airborne laser scanning: an introduction and overview. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, Zürich, v. 54, n. 2-3, 15, p. 68-82. 1999.