

# CLASSIFICAÇÃO DE PONTOS LIDAR PARA A GERAÇÃO DE MODELO DIGITAL DO TERRENO: UM ESTUDO DE CASO

MÁRCIO GEOVANI TAVARES DE ASSUNÇÃO<sup>1,3</sup>  
MOSAR FARIA BOTELHO<sup>2</sup>  
JORGE ANTÔNIO DA SILVA CENTENO<sup>3</sup>  
ADMILSON DA PENHA PACHECO<sup>4</sup>

<sup>1,4</sup> Universidade Federal de Pernambuco – UFPE/PPGCGTG  
Rua Acadêmico Hélio Ramos s/nº - 50740-530 – Recife, Pernambuco, Brasil  
[mgeovani@bol.com.br](mailto:mgeovani@bol.com.br), [admpp@ufpe.br](mailto:admpp@ufpe.br)

<sup>2</sup> Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR  
Caixa Postal 157 – 85.660-000, Estrada Boa Esperança km 04, Dois Vizinhos, Paraná, Brasil  
[mosar@utfpr.edu.br](mailto:mosar@utfpr.edu.br)

<sup>3</sup> Universidade Federal do Paraná – UFPR  
Caixa Postal 19.001 – 81.531-990 Curitiba, Paraná, Brasil  
[centeno@ufpr.br](mailto:centeno@ufpr.br)

---

**RESUMO** – A utilização do *laserscanning* aerotransportado na obtenção de modelos digitais que representem fielmente as informações a respeito de áreas urbanas ou rurais, onde a estimativa do terreno é de extrema importância para a construção de edificações e rodovias, por exemplo, esta se tornando cada vez mais recorrente. O presente trabalho apresenta um método para filtrar e classificar dados *laserscanning* e se obter de forma automática, um Modelo Digital do Terreno (MDT), a partir da implementação de conceitos de morfologia matemática a princípios comuns de filtragem e classificação de dados *laser*. A metodologia descrita é aplicada e testada usando dados coletados por um scanner a laser em Curitiba/PR - Brasil, apresentando um resultado satisfatório para o avanço dos estudos pertinentes a essa área do conhecimento.

**ABSTRACT** - The use of airborne laser scanning for the derivation of terrain information in urban areas, for the production of building models in cities, and wooded areas, for the estimation of the terrain, is spreading. One necessary and important step for such applications is the generation of a digital terrain model (DTM) is also required. In this paper a method to filter and classify data according to the height is described. The methodology is tested using a laser scanner dataset collected in Curitiba, Brazil.

---

## 1 INTRODUÇÃO

A geração automática de modelos digitais relativos à superfície da terra assistiu nos últimos anos, com o advento do sistema de varredura a *laser*, a uma significativa evolução. O sistema *Laserscanning*, neste trabalho pontuado como LIDAR (*Light Detection and Ranging*), por ser assim comumente denominado na literatura especializada, baseia-se essencialmente na determinação da altura de pontos na superfície usando pulsos *laser* que são disparados na direção da mesma. O pulso, ao atingir a superfície, é refletido e uma parte dele retorna ao sistema. A partir do tempo decorrido entre a emissão e o retorno do pulso refletido é possível a distância entre o sensor e o objeto.

Como apenas a medição de distância não é suficiente para calcular a posição de cada ponto na superfície, o

LIDAR é composto da unidade de medição *laser* e dois sistemas auxiliares: um Sistema de Medição Inercial (SMI) e um sistema GPS. O SMI é encarregado de calcular a inclinação do sensor nas três direções. Na fase de pós-processamento, as medidas de distância com seus respectivos ângulos, os dados de GPS e dados de navegação inercial são combinados para determinar a posição dos pontos varridos na superfície terrestre. Para garantir a boa qualidade do resultado, esses dados devem estar sincronizados (WEHR & LOHR, 1999).

O feixe associado a um pulso *laser* disparado desde um avião sofre uma pequena divergência e, por esse motivo, a área associada ao feixe depende da altura do voo. Assim, o feixe pode não atingir um único objeto podendo ser refletido por diferentes pontos localizados a diferentes distâncias do sensor. Desse modo, o ponto mais próximo ocasionará um pulso que retorna mais rapidamente e o ponto mais distante, um retorno mais

demorado. Essa característica ganha relevância quando se leva em consideração a diferença de penetração que pode existir em um único pulso (BEHAN, 2000), pois permite a distinção de elevações.

### 1.1 Breves conceitos

Com o sistema LIDAR, junto com a cota do terreno, a cota de outros objetos acima dele, como edificações e a vegetação, é registrada, prejudicando a medição de pontos no terreno. Isso motivou a necessidade de se estabelecer a diferença conceitual entre um Modelo Digital do Terreno e um Modelo Digital de Superfície. Segundo HAALA (1999), um Modelo Digital do Terreno (MDT) armazena apenas as altitudes dos pontos na superfície do terreno, ao passo que Modelo Digital de Superfície (MDS) é aquele que inclui outros objetos tais como árvores e edificações. Diferenciação também adotada por BURROUGH (1989).

### 1.2 Modelo Digital de Terreno (MDT)

Denomina-se Modelo Digital de Terreno (MDT), do termo inglês *Digital Terrain Model – DTM*, a representação da variação do relevo em uma região da superfície terrestre. A representação mais comum de um MDT está associada à altimetria, embora possa representar outras grandezas que variam continuamente no espaço como, por exemplo, unidades geológicas ou teor de minerais (BURROUGH, 1986, p. 17). O MDT é fundamental para projetos relacionados a cartografia tridimensional, para cálculo de volumes num projeto de estradas, apoio aos projetos de drenagens, base para projetos realizados em Sistemas de Informações Geográficas (SIG's) como, por exemplo, estimativas de distância na alocação de pontos de ônibus onde a inclinação do terreno tem grande importância, na geração de mapas de declividade e afins. Os MDT's podem ainda ser representados por grades regulares e/ou irregulares, similares às matrizes utilizadas para a representação de imagens digitais.

## 2. GERAÇÃO AUTOMÁTICA DO MDT E OS MÉTODOS DE FILTRAGEM E CLASSIFICAÇÃO E DADOS LIDAR

A obtenção de MDT's a partir da filtragem de Modelos Digitais de Superfícies (MDS's) tem, nos últimos anos, impulsionando os principais centros de pesquisa nessa área do conhecimento a desenvolver métodos cada vez mais aprimorados e eficazes em se tratando da geração automática de Modelos Digitais de Terreno. Segundo Sithole e Vosselman (2003), atualmente os conceitos que envolvem essa questão permitem dividi-los nos seguintes principais métodos:

- **Declividade:** Essencialmente a idéia desse filtro é a de que, para uma das diferenças de altura entre dois

pontos, a probabilidade de o ponto mais alto não pertencer ao terreno aumenta com a diminuição da distância linear entre eles (Vosselman, 2000).

- **Superfície:** Vosselman (2000) definiu, ainda, que um ponto  $p_1$  pertence ao terreno (T) se, para qualquer ponto  $p_1$ , pertencente ao terreno, a diferença de altura entre esses pontos é menor que a diferença máxima permitida, calculada em função da distância entre esses pontos.
- **Segmentação** – Neste caso, o conjunto de dados é inicialmente segmentado e depois classificados, considerando que os pontos de um segmento (cluster) não pertencem ao terreno se a altura do segmento estiver acima do segmentos na vizinhança. Thuy e Tokunaga (2002) utilizaram a transformada Wavelet para realizar a segmentação de dados lidar, a fim de verificar que a imagem segmentada foi utilizada para detecção de edificações e outros objetos não pertencer ao terreno.
- **Bloco Mínimo** O princípio fundamental desse método, mais comumente conhecido nas literaturas internacionais como *block-minimum*, considera uma zona de *buffer* acima de um plano horizontal, onde se espera que residam os pontos pertencentes ao terreno.

## 3. MATERIAIS E MÉTODO

### 3.1 Área de estudos

A área de aplicação para o estudo de caso apresentado neste trabalho diz contempla as proximidades do Campus III da UFPR – (Centro Politécnico), onde se utilizou, para levantamentos feitos pelo Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento (LACTEC – UFPR), o sistema OPTECH / INS GPS APPLANIX. Os levantamentos foram realizados com um vôo a uma altura de 1000 metros. A densidade de pontos é de 1 ponto a cada 66 cm em média, tanto em x como em y e a largura da faixa foi de 350 metros com 6 faixas disponíveis.

A região analisada compreende às mediações do Centro Politécnico que constituiu uma área residencial local com considerável presença de edificações, relevo pouco acidentado e significativa presença de vegetação, a serem identificados pelo sistema *Laser Scanner*. Essas características possibilitam a observação eficiente da aplicação do método proposto e seu comportamento.

### 3.2 Metodologia

O presente trabalho tem como premissa a obtenção de um MDT de qualidade visual e estatística, a partir do perfilamento e classificação de pontos LIDAR que caracterizam um MDS, pela aplicação de uma metodologia oriunda da implementação dos conceitos de morfologia matemática nos métodos de filtragem de

pontos LIDAR já conhecidos. Para o momento, denomina-se assim, Método de Filtragem Morfológica ou simplesmente Filtro Morfológico.

### 3.3 Filtro Morfológico

Com o intuito de permitir o uso de métodos de processamento mais eficientes, a análise foi efetuada considerando uma grade regular, como proposto por Wack e Wimmer (2002). Esta grade é preenchida calculando a posição linha/coluna de cada ponto do conjunto de medições LIDAR, a partir de suas coordenadas (E,N,H,I):

$$\begin{aligned} \text{lin} &= (\text{Nmax}-\text{N})/\text{resolução} \\ \text{col} &= (\text{E}-\text{Emin})/\text{resolução} \end{aligned} \quad (1)$$

Quando a resolução da grade é estabelecida de forma grosseira, é possível que mais de um ponto corresponda à mesma célula do gradeamento a ser definido. Nesses casos adota-se por padrão, o menor valor associado ao terreno, considerando que no conjunto de pontos pelo menos um desses atingiu o solo, e assim constitui-se o gradeamento referente à altimetria mínima encontrada (Hmin). Nas células maiores que o espaçamento entre pontos da varredura, pelo menos um ponto é registrado em cada célula e esse, teoricamente, pertence ao terreno. Em função desse Hmin compõe-se o gradeamento final definido pelos valores altimétricos máximos (Hmax).

Para a classificação dos pontos LIDAR são comparadas as altitudes encontradas pelo perfilamento e os valores contidos no Hmax. Se a diferença entre altitudes for menor que a tolerância estipulada então o ponto do perfilamento pertencerá ao terreno, caso contrário serão excluídos da listagem. Isso permite propor a seguinte lei de classificação:

$$\begin{aligned} \text{SE } H(i) - H_{\text{max}} < \text{Tolerância} \quad \text{ENTÃO} \quad i \\ \text{pertence ao terreno} \quad (2) \\ \text{CASO CONTRÁRIO } i \text{ não pertence ao terreno} \end{aligned}$$

Onde:

$$\begin{aligned} H_{\text{min}}(x,y) &= \min(J); \\ H_{\text{max}}(x,y) &= \max(\min(J)); \end{aligned}$$

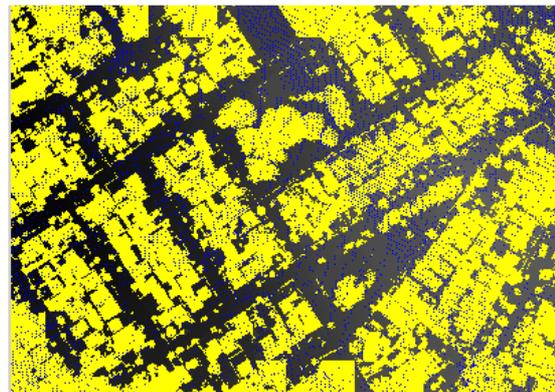
A eliminação de pontos não-pertencentes ao terreno do MDS obtido a partir dos dados LIDAR, seguiu os princípios de filtragem laser pelo método do bloco mínimo (*block-minimum*), Wack e Wimmer, *at al*) implementado com uma região de análise móvel proposta por Assunção, 2007.

## 4. RESULTADOS

O método proposto foi implementado em linguagem de programação C++ e, como forma de avaliação do desempenho do método descrito, aplicou-se o algoritmo na área de estudo. Como resultados relevantes foram obtidas as seguintes situações:

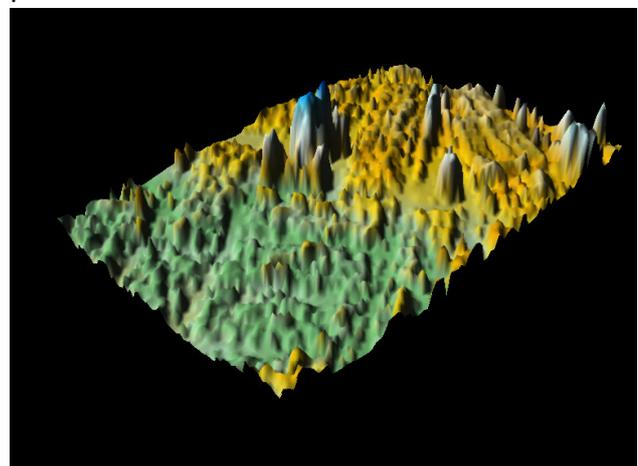
A Figura 01 ilustra a classificação dos pontos na região de estudo onde os pontos em amarelo correspondem a objetos acima do MDT e que por isso, foram eliminados. A janela utilizada é de 24x24 metros e a tolerância altimétrica de 0,50 m.

Os testes realizados indicam que a classificação dos pontos retratou satisfatoriamente a superfície terrestre local, uma vez que houve a exclusão coerente de pontos apontados como não-pertencentes ao terreno, sem a perda relevante de informação que comprometa visualmente o produto final. Desse modo, a aplicação da filtragem morfológica é de fato apropriada para os fins aqui propostos.

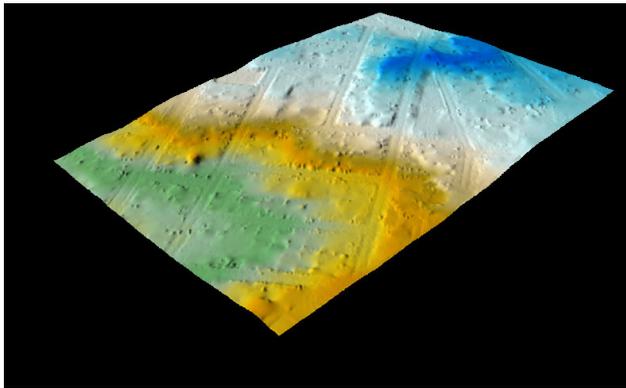


**Figura 01** – Modelo Digital do Terreno gerado a partir do método proposto

A seguir, as Figuras 02 e 03 ilustram respectivamente, o MDS e MDT da região de estudo caracterizada no tópico 3.1 deste trabalho.



**Figura 02** – Modelo Digital da Superfície em 3D



**Figura 03** - Modelo Digital do Terreno em 3D

#### 4.1 Análise Qualitativa: Comparação entre MDTs

Para avaliar a qualidade visual e estatística do produto gerado com a aplicação da metodologia em questão, realizou-se a subtração entre o MDT obtido pelo software TerraScan 2.0 fornecido pelo LACTEC e o melhor resultado adquirido a partir da aplicação proposta. Para tanto foi estabelecida uma grade regular que possibilitasse um processo de interpolação, cujo método mais adequado para a modelagem digital de terrenos é o por *Krigagem*. O resultado atingido pode ser visualizado pela Figura 04 e, no que diz respeito à análise quantitativa, nota-se a verificação de cada ponto do MDT selecionado pelo TerraScan 2.0 na grade interpolada, por meio de uma subtração das altitudes. Os resultados dessa avaliação são apresentados no quadro 1.

Pontos Verificados	46880
(<) Diferença	-0.391125348485843
(>) Diferença	3.08673212410929
Média	0.0568648142756909
<b>Desvio Padrão</b>	<b>0.146905347275189</b>

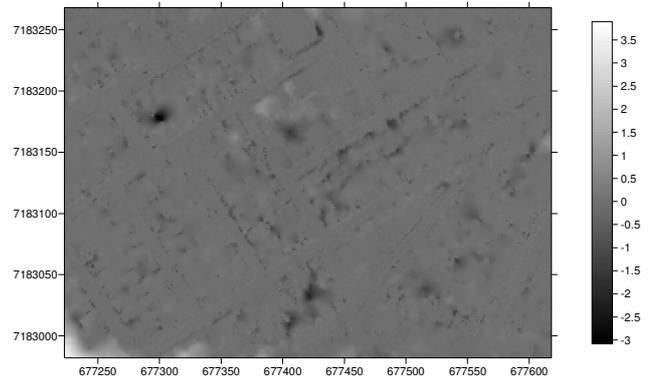
**Quadro 01** – Resíduos da diferença entre grades em metros

Como pode ser observada no Quadro 01, a menor diferença se refere ao valor de  $-0,39\text{m}$ , sendo este próximo à superfície de verificação, do mesmo modo como a maior diferença com um valor de  $3,06\text{m}$ . A média e o desvio padrão para esta região também estão dentro da tolerância da precisão do equipamento que é de  $0,2\text{ m}$  para a altimetria.

Desse modo, o processo de filtragem mostrou-se eficiente em se tratando de uma avaliação quantitativa.

Ao se observar a Figura 04 nota-se a presença de pontos escuros que, nesse caso, correspondem a pontos não-excluídos pela metodologia proposta, mas eliminados

no MDT de referência. Nestes locais, foi constatado em campo que se tratam de edificações com altura inferior ao limiar estipulado.



**Figura 04** – Resultado da subtração MDT/TerraScan 2.0 pelo MDT/Proposto

Com a realização dos experimentos observou-se, que o método descrito produz um modelo que apresenta características mais coesas com a realidade do terreno observada em campo.

## 5. CONCLUSÕES

A qualidade do MDT gerado para a área de estudo proposta, além de satisfatória quando comparada com a do MDT gerado pelo Software TerraScan 2.0, foi constatada também em campo, caracterizando assim, a solução como sendo relevante para a evolução dos estudos nessa área do conhecimento.

O filtro morfológico descrito, ainda que apresentando resultados relativamente menos precisos quanto aos obtidos a partir do software de referência, representa uma eficiente sugestão para obtenção automática de MDT's, sendo a sua utilização indicada tanto para áreas com relevo sutilmente acidentado como também para áreas constituídas por feições heterogêneas.

## AGRADECIMENTOS

Os autores deste artigo agradecem ao CNPq, LACTEC/PR, Universidade Federal de Pernambuco, Universidade Federal do Paraná e Universidade Tecnológica Federal do Paraná/Campus Dois Vizinhos, pelo apoio e incentivo à pesquisa, bem como pela disponibilização de estrutura e recursos que possibilitou a realização do trabalho apresentado.

## REFERÊNCIAS

Assunção, M.G.T.; Botelho, M.F.; Centeno, J.A.S.; Pacheco, A.P. Filtragem e classificação de pontos LIDAR para a geração de modelo digital do terreno. In: Anais XIII

Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 3681-3688.

Behan, A., On the Matching Accuracy of Rastering Scanning Laser Altimeter Data. *ISPRS – International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. XXXIII, Part B3, Amsterdam, 2000.

Burrough, P. A. Principles of Geographic Information System for Land Resources Assessment. New York, Oxford University Press, 194 p., 1986

Haala, N. & Brenner, C., Interpretation of urban surface models using 2D building information. Computer Vision and Image Understanding. Vol 72, nº 2 November, pp 204-214, 1999.

Sithole, G. e G. Vosselman. 2003. Comparison of Filter Algorithms. International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. 34, Part 3/W13, pp. 71-78.

Thuy, V. e M. Tokunaga, 2002. Wavelet-Based Clustering Method to Detect Building in Urban Area from Airborne Laser Scanner Data. Conference Proceedings of Map Asia. Bangkok, Thailand.

Wack, R. e A. Wimmer. 2002. Digital Terrain Models from Airborne Laser Scanner Data – A grid Approach. International Archives of Photogrammetry. Remote Sensing. Vol. 34, Part B3, Graz. Pp. 293-296.

Wehr, A. e U. Lohr. 1999 Airborne laser scanning – na introduction and overview. ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing. Vol. 54. pp. 68-82.