

## EXTRAÇÃO DE DTM E DETECÇÃO DE CONSTRUÇÕES EM ÁREAS URBANAS USANDO LIDAR

### *DTM Extraction And Building Detection In Urban Areas Using Lidar*

**Jorge Antonio Silva Centeno**

**Universidade Federal do Paraná**

Departamento de Geomática

Centeno @ ufpr.br

**Renan Daros**

**Universidade Federal do Paraná**

Engenharia Cartográfica e de Agrimensura

**Johanna Prieto Garzón**

**Universidade Federal do Paraná**

Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas

Johanna.prieto@gmail.com

#### **Resumo:**

Neste trabalho que é introduzido uma metodologia para detecção de extração e edifícios DTM baseado em dados obtidos de Airborne Laser Scanner. Nuvem de pontos do laser scanner foi transformada para o formato raster e ruas são classificadas de acordo com seu valor de intensidade. Como outros objetos, não só de ruas, também estão presentes nesta segmentação inicial, é necessário suprimir tais erros, que é feito, analisando a diferença de altitude entre esses pontos e a vizinhança. Após eliminar os falsos pontos de ruas, um modelo digital é interpolado, que posteriormente é usada para calcular o modelo normalizado. A variação de altitude dos pontos no modelo normalizado é usada para suprimir a vegetação e em seguida os blocos de construção são detectados.

**Palavras-chave:** Lidar; processamento de imagens; nuvem de ponto; DTM.

#### **Abstract**

In this paper it is introduced a methodology for DTM extraction and buildings detection based on data obtained from Airborne Laser Scanner. Laser scanner point cloud was transformed to the raster format and streets are classified according to their intensity value. As other objects, not only streets, are also present in this initial segmentation, it is necessary to suppress such errors, which is done by analyzing the altitude difference between these points and the neighborhood. After deleting the false street points, a digital model is interpolated, which is later used to compute the normalized model. The altitude variation of the points in the normalized model is used to suppress vegetation and then the building blocks are detected.

**Keywords:** Lidar; image processing; point cloud; DTM.

## **1 INTRODUÇÃO**

Uma das principais preocupações nas atividades de cadastro é o levantamento de objetos presentes no território urbano. Embora inicialmente isto tenha sido feito mediante uso de

topografia, com o surgimento de novas tecnologias esta atividade foi modernizada, passando pelo uso de imagens aéreas e mais recentemente pela aplicação de técnicas modernas como o sistema de varredura a LASER aerotransportado, também conhecido como Lidar (Light Detection and Ranging).

Ressalta-se que a utilização de Lidar não é tão recente e por isso diferentes aplicações podem ser encontradas na literatura. Destacando a literatura nacional no que se refere ao uso de Lidar em ambientes urbanos encontram-se trabalhos como Miqueles e Centeno (2005), Karsenty *et al.* (2007), Centeno e Mitishita (2007), Centeno *et al.* (2009) ou Yano *et al.* (2013), que descrevem alternativas para a detecção de prédios em cidades brasileiras.

De maneira geral, os algoritmos operam de forma muito similar. Inicialmente o conjunto de pontos é organizado para representar a superfície levantada. Isto pode ser sob forma de uma grade regular ou como uma grade TIN tridimensional. Este modelo é conhecido como Modelo Digital de Superfície (MDS), pois inclui, além da superfície da terra, o topo de outros objetos como vegetação e as construções. A partir deste modelo são derivadas algumas outras informações, como o Modelo Digital do Terreno (MDT). A extração do modelo digital requer a classificação dos pontos do levantamento Lidar em duas categorias: terreno e outros.

Na literatura são descritos alguns métodos para remoção de objetos acima do terreno e obtenção do MDT, como descrito em Vosselman (2000), Sithole (2001). Neste caso, a declividade dos elementos de uma triangulação TIN da nuvem de pontos é analisada no intuito de detectar pontos altos, longe do terreno, no topo de árvores ou construções.

Uma abordagem diferente é apresentada por Axelsson (2000), que apresenta um método iterativo de geração de uma grade do terreno. Inicialmente mínimos locais são identificados na nuvem de pontos, assumindo que estes pontos são do terreno. Com estes pontos, um modelo digital inicial é interpolado. A seguir, o restante da nuvem de pontos é analisada, comparando a distância que separa cada ponto novo da superfície do modelo digital disponível. Se a distância satisfaz umas condições de proximidade, o ponto é incluído no modelo e após a análise de todos os pontos um novo modelo, atualizado, é gerado. Este processo se repete até que não sejam adicionados novos pontos.

Quando se representa a nuvem de pontos sob forma de uma grade regular, métodos de processamento de imagens podem ser aplicados. Por exemplo, Kilianet *et al.* (1996) propõem o uso de operadores de morfologia matemática para a solução deste problema. A vantagem do uso de uma grade regular é a facilidade do processamento. Esta proposta foi muito explorada por outros autores, que introduziram variações da filtragem morfológica, como Zhang *et al.* (2003).

Os modelos apresentados são gerais e servem para a extração de modelos de terreno em bosques ou áreas urbanas. No caso particular de áreas urbanas, algumas condições de contorno podem ser introduzidas, pois se trata de um cenário com objetos conhecidos.

Neste trabalho é apresentado um método para a extração de modelos do terreno em áreas urbanas a partir da segmentação da malha viária e a triangulação de Delaunay. O modelo é depois utilizado para segmentar os prédios de uma área urbana e apresenta-se o resultado como

um modelo tridimensional das construções.

## 2 MÉTODOS

A seguir são descritos os passos necessários para a obtenção do modelo das construções. Como exemplo ilustrativo, uma pequena região, localizada na cidade de Ponta Grossa (PR) será utilizada. Os dados foram obtidos com o scanner Pegassus HD500 da Optech e foram cedidos pelo Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento (LACTEC) para fins desta pesquisa.

A varredura foi realizada em agosto 2012 com uma altura de voo de 1000m, com uma densidade média de 3,5 pontos por metro quadrado. Um recorte deste voo será usado para ilustrar este trabalho.

Os dados foram organizados em dois conjuntos: os dados altimétricos, contendo o valor da cota (XYZ) e um segundo contendo o valor da intensidade de cada retorno (XYI). Com estes conjuntos duas grades foram interpoladas com uma resolução de um metro. Como não é de interesse manter a verdadeira cota dos pontos, os dados altimétricos foram reduzidos, subtraindo o menor valor da cota do conjunto. Assim sua variação se tornou menor. A intensidade foi normalizada a valores entre 0 e 255, ou seja oito bits.



Figura 1 – Imagem de intensidade do Lidar, representada em 8 bits.

Através de uma inspeção visual, verificando amostras de trechos de ruas, analisou-se a faixa de variação do asfalto na imagem de intensidade. Com esta informação, a imagem foi binarizada, considerando que os pixels com intensidade entre 80 e 90 são asfalto. A binarização produz uma imagem onde trechos da malha viária são visíveis, porém outras áreas também aparecem com a mesma intensidade. A binarização atende a regra formulada na equação 1.

$$\begin{aligned} \text{Se Intensidade} > 80 \text{ E Intensidade} < 90 \text{ então } X = \text{asfalto} \\ \text{Caso contrário } X = \text{outros} \end{aligned} \quad (1)$$

Com o intuito de retirar as áreas isoladas que não pertencem a trechos da malha viária, o operador de morfologia matemática binária “open” foi aplicado à imagem, com um elemento estruturante redondo com raio de três pixels. O resultado é a supressão de pequenas áreas que geram confusão, porém não é conseguido eliminar totalmente os pixels indesejados.

Na morfologia matemática binária são reconhecidos dois operadores básicos, abertura e fechamento.

Sejam A e B dois conjuntos no espaço  $Z^2$  e denotando o conjunto vazio como O, a dilatação do conjunto A pelo conjunto B é definida como:

$$A \oplus B = \{x | \hat{B}_x \cap A \neq \emptyset\} \quad (2)$$

Onde

$\oplus$  denota o operador de dilatação;

A é a imagem binária;

X os pixels da imagem

B o elemento estruturante

$B_x$  é a translação de B em x e

$\hat{A}$  denota a reflexão do conjunto A.

De forma análoga, a erosão é definida por:

$$A \ominus B = \{x | B_x \subseteq A\} \quad (3)$$

O operador morfológico open (abertura) é a aplicação do operador de erosão seguido do operador de dilatação. Nota-se que estes operadores básicos não são complementares. Ou seja, aplicar open e depois close não retorna à imagem original.

O esqueleto da imagem binária foi calculado para reduzir o número de pontos, novamente aplicando a morfologia matemática. Desta forma apenas o eixo, ou a parte central, das ruas foi preservado. Como pode ser visto na figura 2, existem ainda pontos fora da malha viária que não foram removidos.

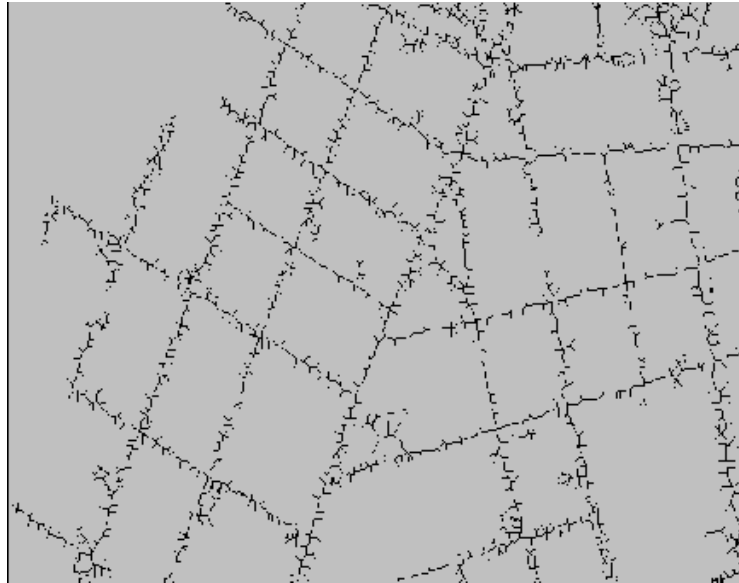


Figura 2 – Esqueleto da malha viária estimada.

Os pontos correspondentes a estes pixels foram identificados na nuvem de pontos e foram considerados uma primeira aproximação do modelo digital do terreno. Porém, devido aos erros, este modelo não é adequado. Na figura 3 é mostrada uma projeção tridimensional destes pontos. Grande parte dos pontos é de fato parte da malha viária, porém são visíveis ainda pontos discrepantes, provavelmente localizados no topo de árvores ou prédios, que se destacam por ficar bem acima da superfície formada pelos pontos na malha viária.

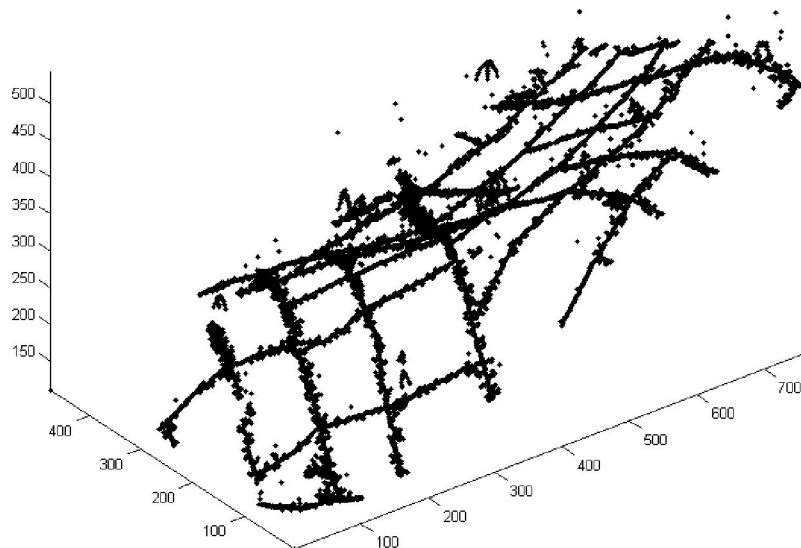


Figura 3 – Vista em perspectiva da primeira aproximação da malha viária. Unidades metros.



A primeira aproximação do terreno através da seleção de pontos segundo o valor da intensidade originou um número menor de pontos, algo muito positivo devido ao grande volume de dados que o Lidar produz. O seguinte passo é a eliminação dos pontos errados, aqueles que não pertencem ao terreno, ou seja, que correspondem a objetos que se localizam acima do nível do terreno. O processo de remoção de pontos elevados é iterativo. Inicialmente uma malha triangular é calculada, a triangulação de Delaunay, com o conjunto de pontos da malha viária estimada. Nesta triangulação, os pontos altos são caracterizados por fazerem parte de triângulos com alta declividade. Assim, a triangulação é varrida na busca de triângulos com alta declividade. Quando se acha um triângulo com alta declividade o seu ponto mais alto é removido. O resultado é um conjunto menor de pontos. Como não é possível reduzir os pontos em apenas uma passada, o processo iterativo é repetido até que não existam mais pontos a serem removidos. A figura 4 mostra o resultado deste processo. Comparando com a Figura 3, pode se notar que os pontos restantes são aqueles que pertencem à malha viária.

A regra de supressão de pontos é definida na equação 4 e é aplicada para cada triângulo da triangulação de Delaunay.

$$f(x) = \begin{cases} \textit{preserva}, & \hat{\text{ângulo}} < Tol \\ \textit{remove}, & \hat{\text{ângulo}} \geq Tol \end{cases} \quad (4)$$

Sendo

$$\hat{\text{ângulo}} = \tan^{-1}\left(\frac{h(x)-\textit{mínimo}}{\textit{distância}(h(x),\textit{mínimo})}\right) \quad (5)$$

onde o mínimo é o menor valor da cota dos vértices do triângulo.

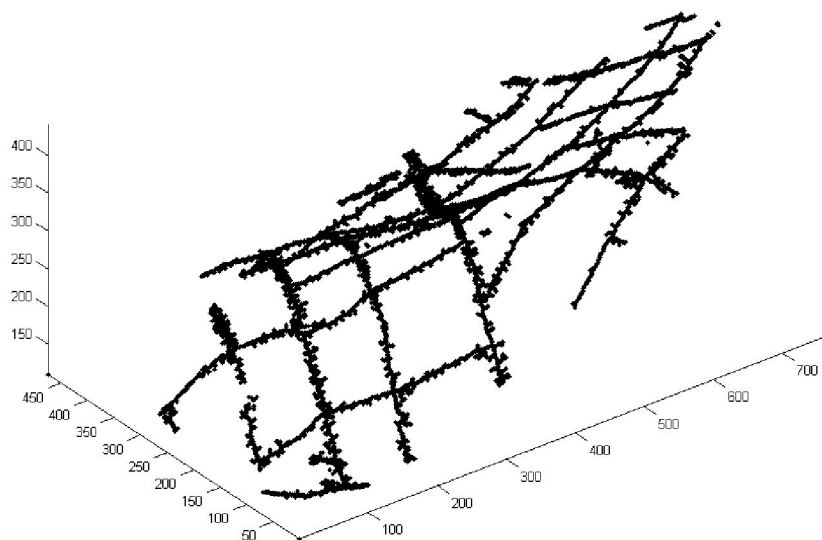


Figura 4 – Pontos da malha viária após a remoção de erros.

Com os pontos localizados apenas na malha viária, no terreno, um modelo digital do terreno pode ser interpolado. A seguir, o modelo digital de superfície normalizado (Weidner & Förstner, 1995) foi calculado, subtraindo o modelo digital do terreno do modelo digital de superfície. Com isso, apenas a altura dos objetos acima do terreno é obtida, conforme mostra a figura 5.

$$MDS_n = MDS - MDT \quad (6)$$

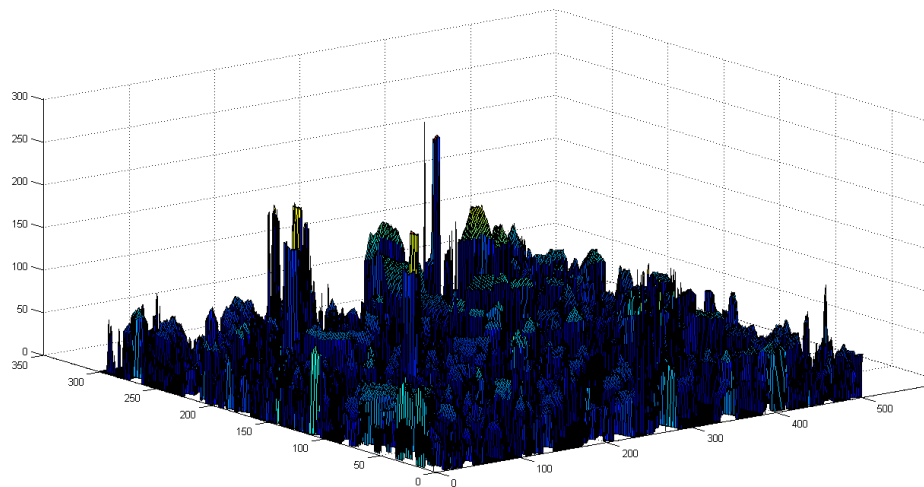


Figura 5 – modelo digital normalizado.

A seguinte etapa é a detecção dos prédios, ou agrupamentos dos mesmos, conforme sua altura. Para isto foi aplicado o segmentador Mean-Shift ao modelo digital normalizado. O resultado são agrupamentos de células com mesma, ou parecida, altura. A figura 6 mostra o resultado da segmentação, as bordas dos segmentos identificados.



Figura 5 – resultado da segmentação.

Neste resultado, árvores e outros objetos pequenos são visíveis. Como eles não fazem parte de construções, a área dos segmentos foi utilizada como parâmetro de discriminação. Assim, segmentos com áreas menores a um limiar ( $100\text{m}^2$ ) foram eliminados da grade. Na figura 6 é mostrado o resultado final de uma pequena área, junto com os dados originais. Observa-se que a maioria das construções foi corretamente identificada, porém seus contornos não são necessariamente corretos. Isto se deve, em parte, aos processos de morfologia matemática e erros de segmentação. Em uma fase seguinte, os contornos devem ser refinados, o que não foi feito aqui.

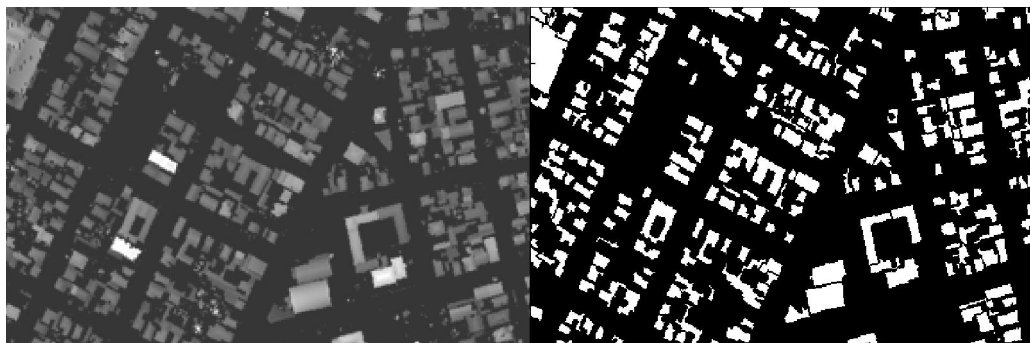


Figura 6 – comparação: a) modelo digital de superfície original e b) resultado final.

### 3 CONCLUSÕES

Neste artigo foi apresentada uma metodologia híbrida para a extração de modelos digitais do terreno em áreas urbanas e também para a extração de construções. O método de extração do modelo do terreno é híbrido, pois se baseia em duas etapas diferentes: a primeira consiste na detecção e extração da malha viária e a segunda na redução da nuvem de pontos por análise de declividade. A extração das construções foi processada de forma convencional, aplicando algoritmos de segmentação.

A vantagem deste método é que o tempo de processamento é bastante reduzido, uma vez que a detecção das ruas é feita em uma imagem raster, aplicando um limiar para selecionar pixels com valor de intensidade compatível com o asfalto. Esta etapa reduz significativamente a quantidade de pontos. Na segunda etapa é usada a triangulação de Delaunay, um processo mais oneroso em termos computacionais, mas que pode ser mais facilmente aplicado considerando que o conjunto de pontos foi reduzido.

Deve-se levar em consideração que esta abordagem somente é viável quando a malha viária se destaca em termos de intensidade, como é o caso do asfalto. Já em áreas rurais esta abordagem deve ser adaptada à reflectância de estradas de terra, por exemplo. Também deve ser notado que a adoção da malha viária como referência para o terreno nem sempre é válida, pois não considera a diferença de altura que os lotes podem ter em relação à rua, algo comum em cidades brasileiras.



Novas pesquisas devem ser feitas para verificar a eficácia deste método, avaliando seu uso em outros cenários urbanos e comparando os valores do terreno com valores de referência, obtidos com métodos de maior acurácia.

### **Agradecimentos**

Os autores gostariam de agradecer a colaboração do LACTEC, por disponibilizar os dados para este estudo, e o apoio financeiro das bolsas que permitiram o desenvolvimento do Trabalho, UFPR, Lactec e CNPq.

### **Referências Bibliográficas**

Axelsson, P. (2000). **DEM generation from laser scanner data using adaptive TIN models**. In: International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Istanbul, Turkey, Vol. XXXIII, Part B4/1, 110–117.

Centeno, J.A.S.; Mitishita, E.A. (2007). **Laser scanner aerotransportado no estudo de áreas urbanas: A experiência da UFPR**. In: XIII SBSR - SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2007, Florianópolis. Anais do XIII SBSR - Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. 2007. v. 1, p. 3645-3652.

Centeno, J. A. S., Kishi, R. T., Mitishita, E. A. (2009). **Aplicação de laser scanner para detecção de áreas para coleta de água de Chuva** In: XIV SBSR, Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2009, Natal. Anais.... , 2009.

Weidner, U.; Förstner, W. (1995). **Towards automatic building extraction from high-resolution digital elevation models**. ISPRS journal of Photogrammetry and Remote Sensing 50 (4), 38-49

Karsenty, A.; Antunes, A. F. B.; Centeno, J.A.S. (2007). **Classification orientee objet de la permeabilite des sols en zone urbaine a l'aide d'imagerietres haute resolution et de donnees laser scanner a Curitiba (Brasil)**. In: XIII SBSR - SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2007, Florianópolis. anais do XIII SBSR - Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. 2007. v. 1, p. 565-572.

Miqueles, M.; Centeno, J.A.S. (2005). **Extração de edificações em ambientes urbanos utilizando imagem de alta resolução e dados do laser scanner**. In: XII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2005, Goiânia. Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. 2005.

Vosselman, G. (2000). **Slope based filtering of laser altimetry data**. Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci. 2000, XXXIII, 935–942. Remote Sens. 2014, 6 6547 26.

Sithole, G. (2001). **Filtering of laser altimetry data using a slope adaptive filter**. Int. Arch.

Photogramm. Remote Sens. 2001, XXXIV-3/W4, 203–210. 27.

Kilian, J., Haala, N., English, M., (1996). **Capture and evaluation of airborne laser data**. In: International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vienna, Austria, Vol. XXXI, Part B3, 383–388.

Yano, M. S.; Dal Poz, A. P.; Mendes, T. S. G.. (2013). **Modelagem das faces de telhados de edifícios a partir de dados de varredura a laser**. In: VIII Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas Curitiba, 3 a 5 de dezembro de 2013.

Zhang, K.; Chen, SC.; Whitman, D.; Shyu, ML.; Yan, J.; Zhang, C. (2003). **A progressive morphological filter for removing nonground measurements from airborne LIDAR data**. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing 41 (4), 872-882