

## USO DE NUVEM DE PONTOS LIDAR COMO SUBSÍDIO À ESTIMATIVA DE POTENCIAL FOTOVOLTAICO

Edson Aparecido Mitishita  
Jorge Antonio Silva Centeno

Universidade Federal do Paraná - UFPR  
Caixa Postal 19001, 81.531-990 Curitiba, Paraná, Brasil  
{mitishita, centeno}@ufpr.br

**Abstract.** In this paper we describe the use LIDAR technology and point cloud processing tools for the modeling rooftops in order to help in determining the potential photovoltaic. The paper focuses on modeling the planes that build a roof based on the spatial relationship between neighboring points of a dense point cloud. The study aims to show the feasibility of using LIDAR data for modeling the roof and derive important geometric parameters for estimation of photovoltaic. The advantage of the method is that the result is easily achieved through digital processing.

**Keywords:** LIDAR, laser scanning, point cloud processing, roof modelling.

### 1. Introdução

Na década passada houve grandes avanços no desenvolvimento e aplicação de sistemas de coleta de dados tridimensionais para aplicações civis. Um destes avanços é o laser scanner aerotransportado capaz de determinar coordenadas tridimensionais de objetos na superfície da terra. O presente trabalho propõe a utilização desta nova forma de sensoriamento remoto para a modelagem de telhados com vistas a auxiliar na determinação do potencial fotovoltaico de telhados. A atenção concentra-se na modelagem de telhados a partir dos dados altimétricos obtidos pelo laser scanner, pontos, baseado na relação espacial entre pontos vizinhos de uma densa nuvem de pontos medida. O estudo pretende mostrar a viabilidade do uso de dados laser scanner para a modelagem dos planos do telhado e derivar parâmetros geométricos importantes para a estimativa da captação de energia solar. A maior vantagem do método é a facilidade alcançada através do processamento digital.

### 2. Laser Scanner

O sistema de varredura laser, também conhecido como LIDAR (Ackerman, 1999) é um sistema usado para a determinação da posição tridimensional dos pontos de uma superfície utilizando um sistema de varredura bidimensional. Seu funcionamento baseia-se na utilização de um pulso de laser que é disparado na direção da superfície. Ao atingir a superfície, parte deste sinal é refletida na direção do sensor, onde é medido junto com o tempo decorrido entre a emissão e a captação do retorno. A distância entre o sensor e o objeto pode ser calculada a partir do tempo decorrido entre a emissão e o registro do retorno,.

O sistema de varredura a laser pode ser dividido em duas componentes principais: a unidade de medição laser propriamente dita, encarregada de emitir e receber o sinal laser e um sistema de varredura optomecânico. A unidade de medição laser é responsável pela determinação da distância entre o sensor e a superfície. A distância é determinada em função do tempo necessário para que o sinal emitido percorra o trecho entre o sensor e o objeto de ida e de volta. A distância entre o sensor e a superfície (range R) é dada por:

$$R = c * dt / 2 \tag{1}$$

O pulso emitido deve ser direcionado a vários pontos do objeto com o objetivo de cobrir uma área. Isto é efetuado usando um sistema varredura que usa espelhos móveis. Os mecanismos mais conhecidos usam espelhos móveis que produzem linhas paralelas ou em zig-zag. A precisão do laser está em torno de 0,1m, por isso os sistemas de apoio devem ter uma precisão igual ou maior (Wehr e Lohr, 1999).

O resultado de um levantamento de laser scanner aerotransportado é um conjunto de pontos com coordenadas tridimensionais, também denominada de nuvem de pontos, pois estes pontos não se encontram espacialmente organizados, a pesar de ser o resultado de uma varredura sistemática, pois alguns pontos são afetados pela altura dos objetos e em muitos casos várias faixas são combinadas para efetuar o levantamento de uma área. Com isto, os pontos são um conjunto de coordenadas XYZ, uma nuvem de pontos.

Voegtle *et al.* (2005) usaram uma abordagem com dois diferentes conjuntos de dados essenciais, dados LIDAR para a derivação das estruturas de telhado e a construção de bordas de polígonos para extrair construções individuais através de um modelo de superfície obtido por triangulação a partir do mesmo conjunto de dados LIDAR. Segundo eles, o último conjunto de dados é necessário, embora existam uma série de métodos para detecção e modelagem 3D de edifícios a partir de dados laserscanning. Para a exclusão da maioria dos erros grosseiros Voegtle *et al.* (2005) fizeram uma inspeção visual das nuvens de pontos e um procedimento de edição manual de desvios evidentes.

Kassner *et al.* (2007), usam dados LIDAR para representarem os telhados dos edifícios, que são analisados de acordo com o declive, a exposição azimutal e as áreas sombreadas. A avaliação da qualidade das áreas dos telhados é realizada por meio de um conjunto de dados 3D, que são extraídos de fotografias aéreas com métodos semi-automáticos. Eles mostram que a classificação dos planos do telhado de acordo com sua exposição pode conduzir a bons resultados, mesmo para as superestruturas mais complexas, desde que os dados LIDAR tenham uma densidade de pontos suficiente.

O uso de LIDAR para o cálculo de áreas potencialmente aproveitáveis, segundo Hippenstiel e Brownson (2011), tem boas vantagens sobre outros dados de sensoriamento remoto. Uma das mais interessantes é a capacidade de capturar dados durante a noite, ajudando a aumentar a disponibilidade de janelas de voo. Outra vantagem é que ajuda a definir o processamento de dados, é a capacidade do LIDAR para recolher dados.

### 3. Metodologia

O problema a ser resolvido consiste na identificação dos planos dos telhados em nuvens de pontos de laser scanner. Porém, inicialmente umas etapas de pré-processamento são necessárias. Primeiro, as faixas devem ser combinadas e, se necessário, registradas. O resultado é o conjunto de pontos com dados XYZ, sendo Z a coordenada da superfície do terreno ou de algum objeto acima dele, como um prédio ou uma árvore, por exemplo. Estes pontos podem ser usados para interpolar um Modelo de Superfície (MS).

O seguinte passo é calcular o modelo do terreno (MT) a partir da nuvem de pontos. Este modelo pode ser obtido a partir de mapas topográficos ou do próprio conjunto de dados do laser scanner, pois a elevação do terreno é parcialmente visível na imagem de altitudes (Von Hansen e Vögtle, (1999). O modelo do terreno descreve a altitude associada a cada ponto da nuvem sem as construções. Isto pode ser obtido retirando os pontos associados a construções ou vegetação. Como é mostrado em Sithole e Vosselman (2003), existem várias maneiras de fazer esta classificação de pontos, o que não será discutido aqui, mas pode ser encontrado em Pacheco *et al.* (2011).

A diferença entre o modelo de superfície e o modelo de terreno corresponde à altura dos objetos acima da superfície terrestre. Este novo modelo é conhecido como modelo de

superfície normalizado. É nesse novo modelo onde os pontos correspondentes a telhados podem ser separados aplicando um limiar de altura, após a eliminação da vegetação. Esta metodologia foi usada com sucesso por Haala e Brenner (1999) para identificar objetos em terrenos acidentados.

Após essa fase de processamento, é possível isolar os telhados na nuvem de ponto. Ou seja, um subconjunto é separado, contendo apenas os pontos de um telhado. A questão agora é classificar estes pontos em classes que descrevam cada plano do telhado.

Uma abordagem ponto a ponto não é apropriada, pois apenas a altura do ponto não é informação suficiente para decidir a qual plano do telhado ele pertence. Por este motivo, a análise deve se concentrar na identificação de regiões coplanares na nuvem de pontos que pertençam aos planos do telhado e depois analisar estas concentrações de maneira a estimar os contornos de cada objeto.

Para identificar os telhados, a abordagem usada neste projeto baseia-se na análise da declividade local dentro de uma triangulação de Delaunay. A triangulação de Delaunay apresenta uma característica particular que garante que cada triângulo que faz parte da triangulação de Delaunay é formado a partir de três pontos configurados de tal forma que o círculo que passa pelos três pontos é vazio, ou seja não contém nenhum outro ponto. Embora este conceito possa ser estendido a três dimensões, neste trabalho apenas uma triangulação bidimensional é usada, projetando os pontos no plano horizontal. A triangulação de Delaunay calculada a partir dos pontos do telhado fornece informações a respeito da proximidade entre pontos (tamanho das arestas) e a relação de vizinhança entre eles. Pontos vizinhos são interligados por um triângulo.

### 3.1. Modelagem de telhados

Da malha de Delaunay é derivado um conjunto de superfícies unitárias, seus triângulos, os quais tem tamanho, orientação e inclinação. Dadas as coordenadas tridimensionais dos vértices, P1, P2 e P3, o plano do triângulo pode ser definido por um destes pontos e dois vetores direcionais:

$$v1 = P2 - P1 \quad (1)$$

$$v2 = P3 - P1 \quad (2)$$

A normal ao plano é o resultado do produto vetorial destes vetores:

$$\text{Normal} = v1 \times v2 \quad (3)$$

A normal é um vetor no espaço tridimensional que aponta para fora na direção perpendicular à superfície do triângulo. Esta normal pode ser decomposta em suas três componentes paralelas aos eixos coordenados e após uma normalização, obtém-se as equações 4-6.:

$$G_x = \text{Normal}_x / SN \quad (4)$$

$$G_y = \text{Normal}_y / SN \quad (5)$$

$$G_z = \text{Normal}_z / SN \quad (6)$$

Onde SN é a norma do vetor normal.

As componentes  $x$  e  $y$  da normal mostram a direção na qual o vetor aponta no plano horizontal.

É esperado que vetores normais calculados a partir de pontos localizados no mesmo plano inclinado apontem, aproximadamente, para a mesma direção. Logo, as componentes  $x$  e  $y$  do vetor normal são a seguir analisadas. Para isto, os valores de  $G_x$  e  $G_y$  são discretizados e sua frequência é mapeada em uma grade bidimensional. Vetores que apontam em uma mesma direção devem produzir agrupamentos representativos nesta grade.

O último passo consiste em detectar os picos significativos. Para isto, um algoritmo similar ao *mean-shift* (Comanuciu e Meer, 2002) é aplicado. O algoritmo varre todos os triângulos da triangulação de Delaunay. As componentes  $G_x$  e  $G_y$  são calculadas e são usadas como ponto de partida, definindo um local  $c_x$  e  $c_y$  na grade de frequências. A seguir, é verificado se este local é o máximo da região em torno do local. Para isto, um raio de busca é definido. Caso isto não ocorra, o máximo é procurado na região e este local é adotado como novo centro  $(c_x, c_y)$ . O processo é repetido até encontrar o máximo local, e o triângulo é atribuído a esta classe.

A partir da orientação, inclinação e área dos planos dos telhados, é possível calcular o potencial fotovoltaico. Para isto, outras informações, como a duração do dia ara o local, a declinação do Sol no inverno e no verão, são necessárias, as quais não serão descritas em detalhe aqui.

#### 4. Experimento

Um conjunto de pontos correspondentes a uma casa com um telhado de 4 águas foi separado para ilustrar o processo. A triangulação de Delaunay foi calculada para este conjunto, do que resultou uma malha com os triângulos elementares. A seguir, a frequência da direção do vetor normal foi mapeada em uma grade, discretizando os valores das componentes  $x$  e  $y$ . A figura 1 mostra o resultado desta etapa. Como pode ser visto, quatro grandes grupos podem ser diferenciados nesta grade de frequências.

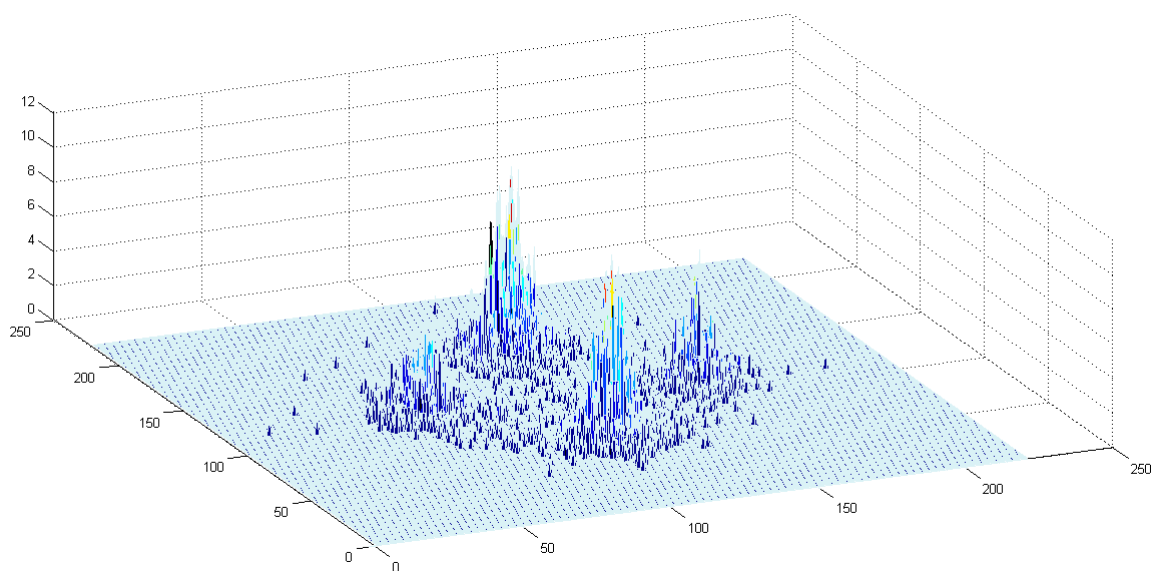


Figura Histograma bidimensional de frequências da direção do vetor normal.

Aplicando o método de detecção de picos máximos de frequência, a grade de frequências é simplificada eliminando os valores baixos perto dos picos. Com isto, apenas as direções mais significativas são obtidas, como ilustra a figura 2.

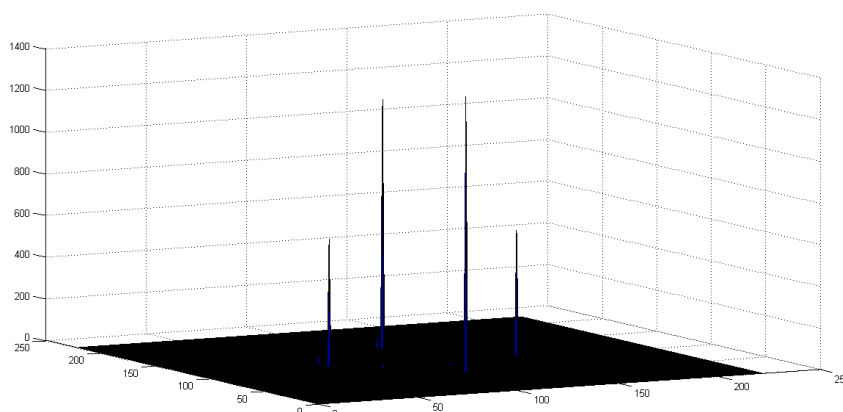


Figura 2. Resultado do processo de detecção de picos.

Finalmente, os picos de baixa intensidade, aqueles menores, são descartados e apenas os maiores são levados em consideração.

Após a detecção de picos, cada triângulo é associado a um deles, ao máximo local mais próximo. Com isto, cada triângulo pode ser classificado segundo sua direção. A figura 3 mostra o resultado da classificação dos triângulos.

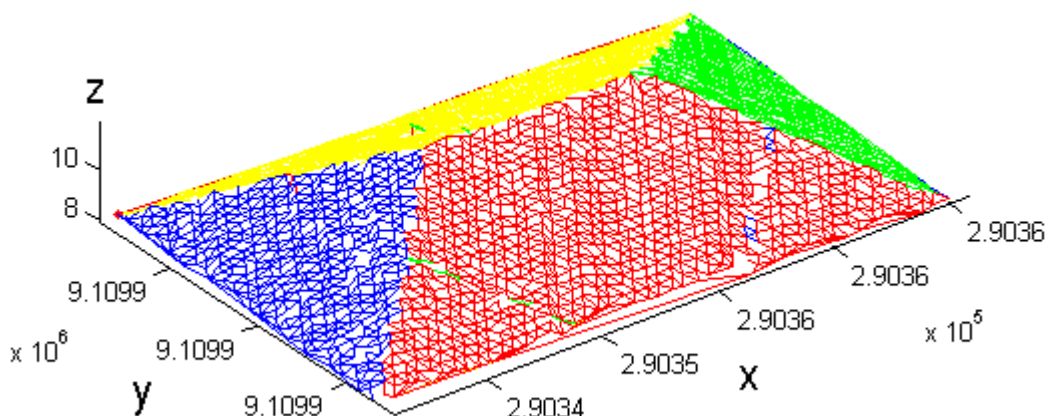


Figura 3. Classificação dos triângulos do telhado

## 5. Conclusões

Neste artigo foi apresentado um método para segmentar uma nuvem de pontos de laser scanner aerotransportado e modelar as faces de um telhado, com a finalidade de estimar sua geometria para calcular o potencial fotovoltaico. O método mostrou ser eficiente e robusto. A segmentação dos planos do telhado é invariante à rotação do prédio, pois as direções mais frequentes são mapeadas e identificadas pelo método. O método pode não ser eficiente quando a quantidade de pontos nas faces do telhado for reduzida, pois é necessário que o plano seja adequadamente caracterizado na nuvem de pontos.

## 7. Referências Bibliográficas

Ackermann, 1999. F. Airborne LASER scanning – present status and future expectations. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. 54, p. 64-67.

Comanuciu, D. e Meer, P.. 2002. Mean shift: a robust approach toward feature space analysis. *Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on*, Vol. 24, Nr. 5, pp. 603 - 619.

Hippenstiel, R.; e Brownson, J. R. S.. . 2011. Computing solar energy potential of urban areas using airborne lidar and orthoimagery. Department of Energy and Mineral Engineering, The Pennsylvania State University, United States of America.

Haala, N. e Brenner, C. 1999. Extraction of buildings and trees in urban environments, *ISPRS Journal Of Photogrammetry And Remote Sensing* (54)2-3 pp. 130-137.

Kassner, R.; Koppe, W.; Schuttenberg, e T. Bareth, G.. . 2007. Analysis of the solar potential of roofs by using official LIDAR data. GIS & Remote Sensing Group, Department of Geography, University of Cologne, Germany.

Pacheco, A.P., Centeno, J.A.S., Assunção, M.G.T. e Botelho, M.F. 2011. Classificação de pontos LIDAR para a geração do MDT. *Bol. Ciênc. Geod. (Online)* vol.17 no.3.

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

Voegtler, T., Steinle, E. e Tovari D. 2005, Airborne laserscanning data for determination of suitable areas for photovoltaics. *Int. Archives of Photogr. and Rem. Sens.* 36(3/W19): 215-220.

Von Hansen, W.e Voegtler, T., 1999. Extraktion der Geländeoberfläche aus flugzeuggetragenen Laserscanner-Aufnahmen", *Photogrammetrie, Fernerkundung, Geoinformation*, vol. 4, p.229-236.

Wehr, A. e Lohr, U. 1999. Airborne laser scanning---an introduction and overview, *ISPRS Journal Of Photogrammetry And Remote Sensing* (54)2-3 pp. 68-82.