



Revista Brasileira de Cartografia (2013) N^o 65/4: 651-659
Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto
ISSN: 1808-0936

AVALIAÇÃO DE MÉTODOS DE FILTRAGEM DE NUVEM DE PONTOS DERIVADOS DO SISTEMA LASER SCANNER AEROTRANSPORTADO PARA OBTENÇÃO DE MDT

*Evaluation of airborne LASER scanner point cloud filtering for DTM
computation*

João Henrique Becker ¹ & Jorge Antonio Silva Centeno ²

¹ Universidade Federal do Paraná – UFPR
Pós-Graduação em Ciências Geodésicas - Departamento de Geomática
Caixa Postal 19001, 81.531-990 Curitiba, Paraná, Brasil
Joahbecker@yahoo.com.br
centeno@ufpr.br

Recebido em 13 de junho, 2012/ Aceito em 01 de setembro, 2012
Received on June 13, 2012/ Accepted on September 01, 2012

RESUMO

O uso de *LASER scanner* aerotransportado tem se constituído numa opção interessante para a obtenção de modelos digitais do terreno devido principalmente a sua rapidez e alta densidade de pontos medidos. Para a obtenção de um modelo digital do terreno são aplicados métodos de filtragem de pontos para eliminar os dados correspondentes a objetos acima do solo, como prédios e árvores. Embora amplamente aceitos, estes métodos podem também modificar a superfície do terreno modelado. Neste trabalho são avaliados e discutidos os resultados obtidos através de três métodos de filtragem, verificando-se regiões de maior interesse para as quais os resultados devem ser confiáveis, e também regiões mais suscetíveis a erros. Assim, é possível apontar quais situações onde se recomenda a utilização desses métodos.

Palavras chaves: *LASER Scanner*, Modelo Digital do Terreno, Filtragem.

ABSTRACT

Airborne LASER Scanner became an interesting option for the computation of digital terrain models especially due to the speed of data acquisition and the high density of collected points. For the computation of a digital terrain model, filtering methods are applied to eliminate points located above the ground, like buildings or vegetation. Although widely accepted, these methods may also modify the shape of the terrain surface. In this work we present and discuss the results obtained applying three of such filtering methods. For this purpose, the computed digital terrain model is analyzed at particular regions, where fails are to be expected, as for example regions covered by dense vegetation, urban areas or regions with high slope. The results allow pointing out for which situations each method is recommended and what is the expected quality.

Keywords: Laser Scanner, Digital Terrain Model, Filtering.

1. INTRODUÇÃO

O *LASER scanner* possibilita a obtenção de coordenadas tridimensionais de pontos em uma área de interesse através da emissão e captação do retorno de pulsos *LASER*. Para a obtenção das coordenadas destes pontos é determinada a diferença de tempo entre a emissão e o retorno do pulso e sua orientação em relação ao sensor. Com isso é calculada a posição tridimensional dos pontos referenciada a um sistema de coordenadas arbitrário, com origem normalmente no centro óptico do emissor/sensor *LASER scanner*. Conhecendo-se a posição e orientação do *LASER scanner* no momento da emissão e retorno do pulso, pode-se então ter as coordenadas dos pontos referenciadas a um sistema de coordenadas geodésico ou local. Para um referencial geodésico, isso é obtido com a utilização de sistemas inerciais, que obtêm a orientação do *LASER scanner*, e receptores GPS, que determinam as coordenadas geodésicas do sensor. Como resultado deste processo tem-se as coordenadas dos pontos medidos. A precisão do levantamento depende muito da geometria do voo e da varredura. Porém, valores típicos são fornecidos pelos fabricantes, na ordem de 50 cm em planimetria e precisão altimétrica na ordem de 10 a 15 cm, para alturas de voo de 700 a 1000 metros, dependendo do equipamento (CENTENO e MITISHITA, 2007; CHOMA et al. 2005). O produto gerado pelo *LASER scanner* é uma nuvem de pontos tridimensionais irregularmente espaçados, normalmente acompanhados dos respectivos valores da intensidade de retorno.

O uso de *LASER scanner* aerotransportado levantou grande interesse para a geração de modelos digitais do terreno. Sobrevoando uma região, uma densa nuvem de pontos pode ser obtida, que pode ser usada para gerar uma grade irregular ou interpolar uma grade regular. Porém, o levantamento por *LASER scanner* aerotransportado não inclui apenas os pontos do terreno, mas também pontos correspondentes a objetos localizados acima dele. Assim sendo, os modelos podem ser diferenciados em dois tipos, segundo é mostrado em WEIDNER e FÖRSTNER (1995): o Modelo Digital do Terreno (MDT), que é composto pelos pontos pertencentes somente ao solo nu, não contendo, portanto, edificações ou vegetação; e o Modelo Digital de Superfície (MDS), composto por todos os pontos da superfície, que inclui, além do terreno, os objetos

localizados acima do mesmo, como construções e vegetação.

Tradicionalmente, para a geração de um MDT, pode-se realizar um levantamento de vários pontos pertencentes ao solo e, usando modelos de interpolação, obter-se uma grade contendo coordenadas para toda a região. Para que o MDT seja uma representação confiável do terreno é necessário que os pontos mais significativos do terreno sejam medidos como, por exemplo, pontos em fundo de vales ou topo de encostas. Se esses pontos não forem incluídos corre-se o risco de suavizar a representação do terreno, pois estes pontos extremos seriam interpolados a partir de outros localizados nas proximidades.

O *LASER scanner* fornece um MDS. A geração do MDT demanda a eliminação dos pontos que atingiram outros objetos, não o terreno. Existem diversos métodos para retirar os pontos incidentes em outros objetos. Porém a redução pode, eventualmente, reduzir também pontos significativos do terreno, como o topo de encostas muito inclinadas. Com o conjunto restante é posteriormente interpolado um modelo da superfície do terreno para toda a região. Na literatura são apresentados diversos métodos para a geração de MDT a partir da nuvem de pontos de um levantamento *LASER scanner*. Os principais são descritos a seguir.

Por declividade – Neste método a declividade ou desnível entre dois pontos é medida. Se a declividade exceder um determinado limiar então se assume que o ponto mais elevado pertence a um objeto (SITHOLE e VOSELMAN, 2003). Seguindo o princípio de que, segundo VOSELMAN (2000), uma grande diferença de altitude entre dois pontos próximos entre si é improvável de ser causada por um declive íngreme no terreno, o mais provável é de que este ponto não seja um ponto de terreno.

Bloco-mínimo – A função discriminante é um plano horizontal com um *buffer* acima dele. O plano determina a posição do *buffer*, e o *buffer* define a região no espaço tridimensional onde se espera que os pontos pertencentes ao solo residam (SITHOLE e VOSELMAN, 2003). Esse plano horizontal é normalmente determinado pelo ponto mais baixo dentre um bloco de pontos.

Base de superfície – Neste caso a função discriminante é uma superfície paramétrica com um

buffer acima dela. A superfície determina a posição do *buffer* e, como no bloco-mínimo, o *buffer* define a região no espaço tridimensional onde se espera que os pontos pertencentes ao solo residam (SITHOLE e VOSSSELMAN, 2003).

Morfológico – Consiste em aplicar operadores de morfologia matemática de erosão de dilatação para remover os picos no modelo de maneira progressiva (LINDENBERGER, 1993).

A variedade de métodos de filtragem é grande, porém não existe uma solução geral que se adapte a todos os tipos de relevo. Na intenção de remover outros objetos, a filtragem pode suavizar o relevo ou até suprimir detalhes importantes, que seriam necessários para descrever a variação do terreno (SITHOLE e VOSSSELMAN, 2003).

Assim sendo, o presente trabalho tem como objetivo avaliar o desempenho de três métodos de filtragem de pontos obtidos por *LASER scanner* para a obtenção de modelos digitais do terreno visando estudar sua adequação e limitações perante detalhes da topografia.

2. ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo se situa em São José dos Pinhais (PR) e foi selecionada por conter regiões com diferentes características estruturais. A área selecionada compreende a entrada de São José dos Pinhais, vindo a partir de Curitiba, contendo algumas edificações, o final da Avenida das Torres, três cursos de água, dois deles passando por baixo da Avenida das Torres, e uma região com densa vegetação. Sendo possível, portanto, avaliar o comportamento dos métodos de filtragem utilizados em diversas situações.

Os dados brutos utilizados consistem em uma nuvem de pontos, com coordenadas tridimensionais e valores de intensidade de retorno. Estes pontos foram levantados pela empresa ESTEIO com o sistema LASER Optech ALTM 2025, com média de um ponto a cada 53 cm. Também foi usada uma grade regular, obtida a partir da nuvem de pontos pelo método de interpolação do vizinho mais próximo, com resolução de 50 cm.

3. METODOLOGIA

Para determinar o MDT da região de estudo, três métodos de filtragem foram aplicados. Eles são descritos em detalhe a seguir.

3.1. Bloco Mínimo

O método do Bloco Mínimo parte da hipótese de que se em um subconjunto de pontos da nuvem de pontos (um bloco) existe um ponto correspondente ao terreno, este ponto é um mínimo local. Assim sendo, o método divide a região de estudo em blocos e analisa a nuvem de pontos dentro de cada bloco para identificar o mínimo, que seria um ponto no terreno. Assumindo uma variação suave do terreno, os outros pontos do terreno não podem ser muito mais altos que este mínimo. Então, o método filtra os pontos em função de sua distância ao bloco mínimo.

A superfície obtida pode apresentar uma aparência “quadriculada” em áreas íngremes e tende a rebaixar o solo, pois uma cota mais baixa de um ponto na borda do bloco será atribuída a todo o bloco (HAUGERUD e HARDING, 2001). O método assume que o terreno tem variação suave e, portanto, tende a apresentar bons resultados em superfícies com baixa declividade e a falhar em superfícies íngremes.

O algoritmo desenvolvido para a filtragem é aplicado em três iterações, aumentando, em cada iteração, a área de varredura e o desnível. Isso foi feito para ser possível a filtragem de elementos menores, como carros e vegetação de pequeno porte, que são filtrados na primeira iteração, e minimizar o rebaixamento excessivo do solo e o efeito “quadriculado”, pois nas duas iterações seguintes o limiar pode ser mais brando resultando em uma superfície com mudanças de elevação mais suaves.

3.2 Filtro Morfológico Progressivo

Sabe-se que filtros morfológicos são capazes de remover árvores e edificações de dados *LASER scanner*, porém, segundo ZHANG (2003), é difícil detectar todos os diversos objetos, com diferentes dimensões, utilizando-se uma janela de filtragem com tamanho fixo. ZHANG (2003) também apresenta um método para solucionar este problema. O método consiste no incremento gradativo do elemento estruturante.

Uma superfície filtrada inicial é obtida aplicando-se uma operação de abertura, aplicação de uma erosão seguida de uma dilatação aos dados brutos, com um elemento estruturante de tamanho

reduzido. As feições maiores, como edificações, não são retiradas, pois têm tamanho maior que as dimensões do elemento estruturante, enquanto parcelas isoladas de vegetação, menores que o tamanho do elemento estruturante, são removidas.

Na iteração seguinte, o tamanho do elemento estruturante é aumentado e outra operação de abertura é aplicada, resultando em uma superfície ainda mais suave. Os pontos de edificações maiores são removidos e substituídos pela menor elevação da região definida pelo elemento estruturante.

Uma vez obtida esta superfície suavizada, os pontos são classificados em função de sua distância a esta superfície de referência. Um ponto é classificado como terreno se sua diferença de altitude estiver abaixo de um limiar estabelecido, ou como objeto, se estiver acima do limiar.

3.3. Adensamento progressivo

O método, descrito por AXELSSON (2000), consiste na geração de um TIN (Triangulated Irregular Network) a partir de um processo iterativo no qual pontos são adicionados quando fazem parte do terreno, ou recusados, quando não fazem parte do terreno, de acordo com parâmetros determinados a partir dos próprios dados. O processo da geração do TIN pode ser descrito em três etapas. Inicialmente são selecionados pontos com alta probabilidade de ser terreno. Estes pontos podem ser escolhidos, por exemplo, aplicando-se o filtro do bloco mínimo. Com este conjunto inicial de pontos, uma grade TIN é calculada. A seguir, o restante dos pontos é analisado e os pontos que satisfazem critérios pré-fixados são incluídos na grade. Assim a grade é adensada e esta nova grade pode ser usada para repetir a análise. O processo continua até todos os pontos serem classificados como objeto ou terreno. Os parâmetros para o adensamento do TIN são: (a) a distância entre as faces do TIN e o ponto; (b) e os ângulos formados pelo ponto e a face do triângulo mais próximo, medido em seus vértices. O processo iterativo termina quando não há mais pontos a serem adicionados à superfície do TIN.

Esta forma de adensamento é válida para superfícies contínuas, como ambientes naturais. Superfícies não contínuas, frequentes em áreas urbanas, são mais complicadas de tratar, pois as bordas são cortadas pelos valores limiares serem facilmente excedidos.

3.4 Avaliação

A avaliação do desempenho dos métodos de filtragem foi efetuada em regiões consideradas críticas, ou seja, regiões onde se espera que os métodos possam apresentar falhas, como por exemplo, em regiões acidentadas ou com detalhes na topografia.

Para efetuar a avaliação dos métodos de filtragem foram lidos nos dados originais perfis de trechos selecionados e o perfil ideal foi digitalizado manualmente considerando a variação da topografia local. Esta tarefa inclui a remoção de objetos como vegetação e prédios pelo método visual.

Em seguida, os mesmos perfis foram lidos nos resultados dos métodos de filtragem e foi feita a comparação do resultado de cada método de filtragem com o perfil de referência, calculando valores para quantificar a diferença. Foi avaliada as diferenças média, máxima e mínima, bem como os desvios padrão da diferença entre perfis. Os resultados desta avaliação são apresentados, para cada perfil, nas Tabelas 1 a 4.

A comparação numérica dos resultados foi realizada calculando a diferença entre o perfil filtrado e o perfil de referência:

$$D(i) = P_F(i) - P_R(i) \quad (1)$$

onde:

D : diferença entre os perfis

P_F : perfil obtido com a filtragem

P_R : perfil de referência.

4. EXPERIMENTOS

Quatro perfis foram selecionados para a comparação dos métodos. Cada um deles apresenta características especiais como presença de prédios e vegetação ou detalhes significativos no relevo. Os perfis são apresentados a seguir. Os resultados obtidos em cada uma das regiões também são apresentados.

O método morfológico foi aplicado dentro do ambiente Matlab, utilizando um programa escrito pelos autores. Os restantes foram aplicados usando o software ALDPAT (Airborne LiDAR Data Processing and Analysis Tools) v 1.0, disponibilizado pelo International Hurricane Research Center.

Perfil 1: área urbana.

O primeiro perfil se localiza numa área urbana com edificações de pequeno porte em um terreno inclinado, como mostra a Figura 1.

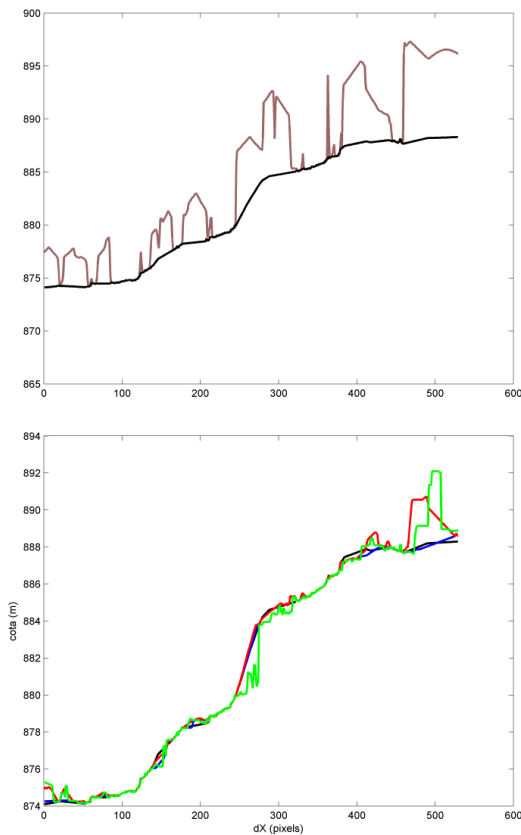


Fig.1 - Perfil 1. (a) Dados originais e referência, (b) comparação dos métodos de filtragem.

Pode-se perceber através da comparação dos perfis que os resultados para a área urbana se aproximam do perfil traçado manualmente, principalmente para o método do adensamento progressivo. O morfológico de forma geral também apresentou bom resultado, porém apresentou alguns resíduos na região de edificações. O filtro do bloco mínimo também não consegue remover as edificações e, além disso, rebaixou excessivamente parte do terreno na região com maior declividade.

A comparação numérica, Tabela 1, confirma o bom resultado do método do adensamento progressivo na região urbana, com uma precisão de 15,4 cm e diferença média abaixo de 1 cm, na componente vertical.

Os filtros morfológico e do bloco mínimo não tiveram sucesso na remoção virtual de todos os prédios. O perfil do filtro morfológico ficou acima do de referência, como confirma o valor da média. Isto também resulta em valores altos para o desvio padrão. A filtragem do bloco mínimo também

TABELA 1 - DIFERENÇAS (EM METROS) MÉDIA, MÍNIMA E MÁXIMA E DESVIO-PADRÃO DA COTA, OBTIDOS PARA O PERFIL 1.

Perfil 1	D_m	σ_D	D_{max}	D_{min}
Morfológico	0.268	0.597	2.684	-0.322
Adensamento Progressivo	-0.009	0.154	0.467	-0.593
Bloco Mínimo	0.096	0.818	3.880	-2.980

produz depressões, o que compensa em parte as altas cotas nos prédios e origina uma diferença média um pouco mais baixa. Porém, pelo valor do desvio padrão reflete pode-se perceber a alta discrepância em relação ao perfil de referência.

Perfil 2: vegetação densa

O segundo perfil foi obtido a partir de uma área com vegetação, um fragmento da Floresta Ombrófila Mista, para avaliar o comportamento dos filtros nesse tipo de situação.

A visualização dos gráficos não permite a comparação clara entre os métodos, porém pode-

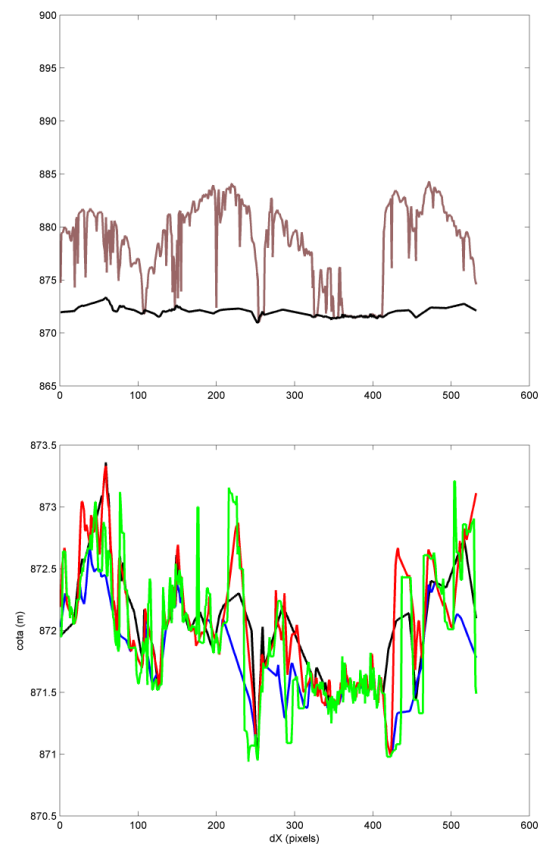


Fig.2 - Perfil 2: Floresta. (a) dados originais e referência, (b) comparação dos métodos de filtragem.

se perceber que os três métodos filtraram a vegetação. Os resultados estão relativamente próximos ao perfil traçado manualmente, mas pode ser observado que os picos de máximo e mínimo resultantes estão abaixo e acima daqueles obtidos manualmente, não concordando com a realidade.

Nessa região, os três filtros apresentaram uma dispersão considerável em relação aos dados de referência, nenhum deles obtendo resultados dentro da precisão esperada. Em alguns pontos a diferença encontrada ficou acima de 50 cm. Os resultados podem ser explicados pela densidade da vegetação. Quando a vegetação é muito densa, o LASER scanner tem dificuldade em penetrá-la e atingir o terreno, como é visto na Figura 2, onde a menor parte dos feixes atingiu o solo. O pulso LASER pode ser refletido pela copa das árvores que compõem o dossel, mas também podem ser refletidos por outros objetos abaixo do dossel, como uma cobertura arbustiva que compõe o estrato inferior logo abaixo dessas árvores. A porcentagem de pontos que efetivamente pertencem ao terreno depende muito da densidade da vegetação. Um estudo numa área próxima efetuado por Schimalesky e Centeno (2008) apresenta um levantamento da densidade de pontos que atingem o terreno em este tipo de vegetação. Embora neste levantamento a densidade média tenha sido em torno de 1,1 pontos por metro quadrado, foram encontradas regiões com densidade muito inferior, em torno de 0,12. Obviamente, por ser um levantamento diferente, com outra geometria, estes valores não podem ser diretamente aplicados à área de estudo, mas servem de parâmetro pois a vegetação é similar. Segundo estes autores, apenas 15% dos pontos atingem o solo, e ainda com distribuição muito irregular. Ainda, outros 15% foram refletidos pela cobertura arbustiva. Isto dificulta a filtragem.

A Tabela 2 apresenta as estatísticas resultantes da comparação entre os perfis produzidos pela filtragem e o de referência. Chama a atenção o fato do método do adensamento progressivo estar associado às menores diferenças extremas, embora o valor do desvio padrão esteja próximo aos dos outros métodos.

Perfil 3: Canal Fluvial

O terceiro perfil é transversal ao canal de um rio e foi selecionado para avaliar o resultado dos métodos de filtragens nas margens do canal. A figura

TABELA 2 - DIFERENÇAS (EM METROS) MÉDIA, MÍNIMA E MÁXIMA E DESVIO-PADRÃO DA COTA OBTIDOS PARA O PERFIL 2.

Perfil 1	D_m	σ_D	D_{max}	D_{min}
Morfológico	0.021	0.248	1.011	-0.927
Adensamento Progressivo	-0.236	0.276	0.300	-0.941
Bloco Mínimo	-0.087	0.369	0.915	-1.140

3 mostra a comparação entre os perfis resultantes. Em preto encontra-se o perfil de referência.

Os perfis devem ser analisados cuidadosamente. Os trechos de interesse estão localizados nas paredes do canal, que são as regiões onde pontos de quebra são localizados. Nesses trechos, as cotas obtidas com as filtragens são diferentes daquelas obtidas manualmente. O método do bloco mínimo é o que apresenta piores resultados. as paredes do canal foram muito alteradas, tendo suas cotas drasticamente reduzidas. O perfil resultante do filtro morfológico se assemelha bastante ao perfil manual, mas na margem esquerda

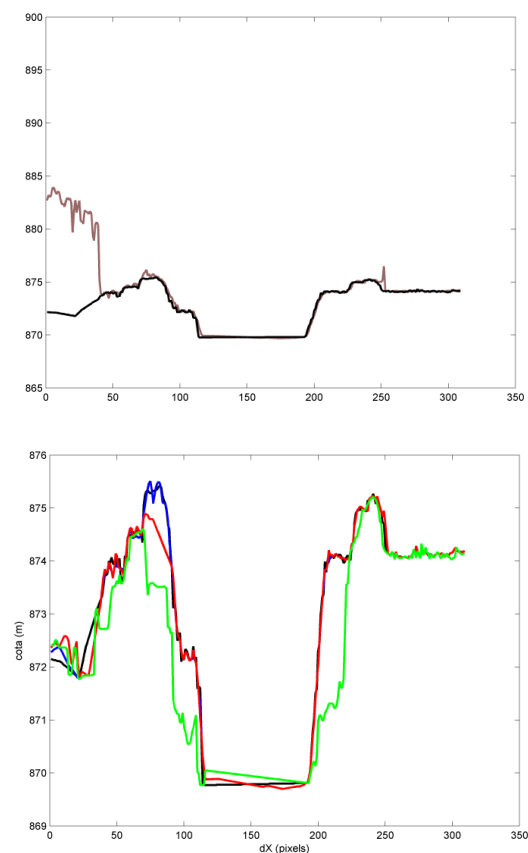


Fig.3 - Perfil 3: Canal. (a) dados originais e referência, (b) comparação dos métodos de filtragem.

a cota foi reduzida. O adensamento progressivo é aquele que mais se aproxima do perfil de referência.

Na região do canal, o melhor resultado corresponde à superfície obtida pelo adensamento progressivo, que ficou com diferença média novamente abaixo de 1 cm e desvio padrão dentro da precisão esperada, como mostra a Tabela 3. O filtro morfológico apresentou também um bom resultado, porém falhou ao afundar parte do perfil na margem do canal, com valores próximos a um metro, o que originou um valor menor da média e alta dispersão das diferenças, medida pelo desvio padrão. O método do bloco mínimo produz os piores resultados, o que de certa forma pode ser explicado pela erosão excessiva do relevo íngreme das margens do canal.

Perfil 4: estrada

O quarto perfil selecionado corresponde a uma seção transversal de uma malha viária na cidade de Curitiba, no caso a Avenida Comendador Franco, onde se notou filtragens em excesso em determinados locais.

Esse perfil foi selecionado devido aos problemas encontrados durante a filtragem da avenida, que, como se pode ver pelos gráficos, é elevada em relação às regiões no seu entorno. A comparação visual mostra que métodos como o morfológico e o do bloco mínimo tendem a rebaixar as cotas e isto afeta principalmente as rampas laterais da estrada. Já o método do adensamento progressivo não altera significativamente o perfil, gerando os melhores valores para diferenças e desvio-padrão.

Os valores para o filtro do método do adensamento progressivo foram aceitáveis, apesar do valor encontrado para o desvio padrão ter sido alterado, grande parte devido a uma pequena porção do perfil, local onde houve a diferença máxima de 1,073 m. Provavelmente sem essa região os valores teriam ficado dentro da precisão esperada. Essa parte alcançou a mesma diferença máxima para o método morfológico, podendo ter

TABELA 3 - DIFERENÇAS (EM METROS) MÉDIA, MÍNIMA E MÁXIMA E DESVIO-PADRÃO OBTIDOS PARA O PERFIL 3.

Perfil 1	Dm	σ_D	Dmax	Dmin
Morfológico	-0.024	0.247	0.066	-1.005
Adensamento Progressivo	-0.005	0.147	0.526	-0.704
Bloco Mínimo	-0.424	0.822	0.520	-2.911

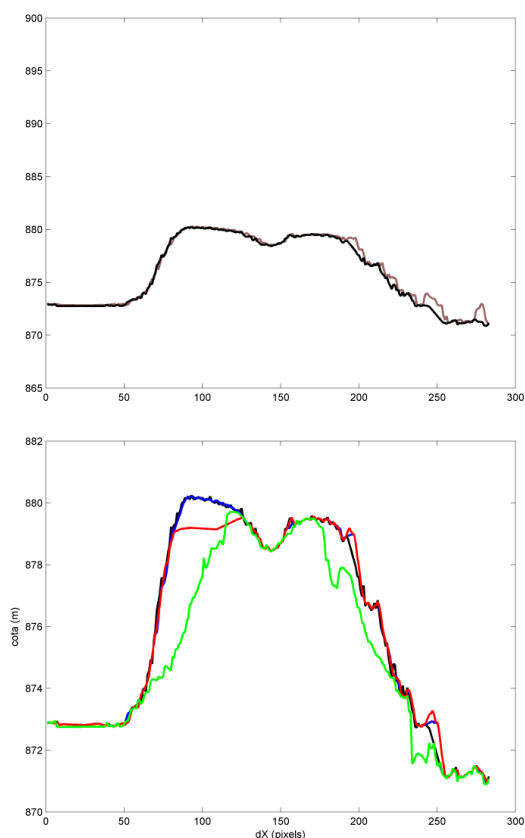


Fig. 4 – Perfil 4: Estrada. (a) dados originais e referência, (b) comparação dos métodos de filtragem.

seido traçada incorretamente. O método morfológico apresentou um valor aceitável para a diferença média, porém, devido ao rebaixamento da avenida e deste trecho com diferenças na ordem de 1 m, apresentou um valor acima do esperado para o desvio-padrão. O método do bloco mínimo apresentou um resultado insatisfatório, pois removeu grande parte da pista, resultando em uma diferença média de 73 cm com alto desvio-padrão, indicando além do deslocamento da média uma dispersão dos valores obtidos em relação aos esperados, como é mostrado na Tabela 4.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O artigo apresenta uma comparação do desempenho de filtros para obtenção de modelos

TABELA 4 - DIFERENÇAS MÉDIA, MÍNIMA E MÁXIMA E DESVIO-PADRÃO OBTIDOS PARA O PERFIL 4.

Perfil 1	D _m	σ_D	D _{max}	D _{min}
Morfológico	-0.058	0.376	1.073	-1.059
Adensamento Progressivo	-0.042	0.206	1.073	-0.723
Bloco Mínimo	-0.734	1.133	0.135	-4.658

do terreno a partir de dados de *LASER scanner* aerotransportado, centrando a atenção da análise em casos considerados problemáticos, como topo e base de encostas e rampas.

Os experimentos apontam que o método do adensamento de rede irregular de triângulos apresenta os melhores resultados em áreas com grande quantidade de pontos de terreno e com feições artificiais, como regiões urbanas, canais e estradas. Porém, em áreas cobertas por vegetação densa ele não é significativamente mais eficiente que os outros métodos aqui avaliados.

Os resultados obtidos com o filtro morfológico progressivo também foram satisfatórios, mas percebe-se uma falha especialmente na remoção de elevações em função do tamanho e forma do elemento estruturante. O elemento estruturante é decisivo para a suavização do terreno e deve ser criteriosamente definido em função do tamanho dos objetos presentes. Porém seu desempenho varia de região para região e a adoção de um único elemento não é recomendada quando a região de estudo apresenta diferentes coberturas e declividades.

O mesmo vale para o método do bloco mínimo, que depende do tamanho do bloco. A superfície definida pelo método tende a ser rebaixada ficando, na maioria dos casos, abaixo do terreno. Uma solução para este método é sua utilização como uma primeira aproximação e assim, usando um limiar, separar pontos próximos desta superfície inicial para interpolar um novo modelo digital do terreno.

O estudo apresentado neste artigo aborda situações mais críticas na filtragem da nuvem de pontos e os resultados apontam que o método do adensamento progressivo é mais recomendado para preservar os detalhes,

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à ESTEIO Engenharia e Levantamentos pela permissão para o uso dos dados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AXELSSON, P. DEM Generation from LASER Scanner data using adaptive TIN models. **International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing**, vol 33(B4), Amsterdam, pp. 110-117, 2000.

CENTENO, J.A.S. e MITISHITA, E.A. Laser Scanner Aerotransportado no estudo de áreas urbanas: A experiência da UFPR. **Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, INPE, Florianópolis, pp. 3645-3652, 2007.

CHOMA, A.; RATCLIFF, C e FRISINA, R. Evaluation of remote sensing technologies for high-resolution terrain mapping. **Proceedings of SSC 2005, Spatial Sciences Institute**, Melbourne, Australia, ISBN 0-9581366-2-9, pp 751-760, 2005.

HAUGERUD, R.A. e HARDING, D.J. Some algorithms for virtual deforestation of LIDAR topographic survey data. **International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 34(3/W4), Annapolis, USA, pp. 211-217, 2001.

LOHMANN, P.; KOCH A.; SCHAFFER, M. Approaches to the filtering of laser scanner data. **International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 33(B3), Amsterdam, pp. 540-547, 2000.

PACHECO, A.P.; CENTENO, J.A.S.; ASSUNÇÃO, M.G.T.A.; BOTELHO, M.F. Classificação de pontos LIDAR para a geração do MDT. **Boletim de Ciências Geodésicas**, sec. Artigos, Curitiba, vol. 17, nº3, pp. 417-438, 2011.

SCHIMALESKY, V. e CENTENO J.A.S. Avaliação da qualidade da informação altimétrica derivada da varredura a laser em uma região coberta por vegetação: estudo de caso. **Revista Floresta**. Vol. 38, No 4, p. 597-606, 2008.

SITHOLE, G. e VOSSSELMAN, G. Comparison of Filtering Algorithms. **International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, v. 34(3/W13), Dresden, Germany, pp. 71-78, 2003.

VOSSSELMANN, G. Slope Based Filtering of Laser Altimetry Data. **International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 33(B3), Amsterdam, pp. 935-942, 2000.

WEIDNER, U. e FÖRSTNER, W. Towards automatic building reconstruction from high resolution digital elevation models. **ISPRS Journal**, 50(4), pp. 38-49, 1995.

ZHANG, K.; CHEN, S.C.; WHITMAN, D.; SHYU, M.L.; YAN, J.; ZHANG, C. A progressive morphological filter for removing nonground measurements from airborne LIDAR data. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 41 n° 4, pp. 872–882, 2003.