



**Filtragem de Dados LiDAR de Área com Relevo
Acidentado para Geração de Modelo Digital do Terreno**

Digital Terrain Model Generation from Filtering Data of LiDAR of Area With Rugged Terrain

Rafael Lopes Mendonça & José Luiz Portugal

*Universidade Federal de Pernambuco, Departamento de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura,
Programa de Pós-graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação.*

Av. Prof. Moraes Rego, 1235 – Cidade Universitária 50670-901 Recife, Pernambuco, Brasil

E-mails: rafaellomendonca@gmail.com; joseluiz.portugal@gmail.com

Recebido em: 30/08/2018 Aprovado em: 15/10/2018

DOI: http://dx.doi.org/10.11137/2018_3_568_579

Resumo

Com o crescente uso dos dados obtidos pelo escaneamento a laser aerotransportado para aquisição de Modelos Digitais, tem-se notado um maior interesse no desenvolvimento de técnicas de filtragens que sejam capazes de gerar, de forma cada vez mais automática, um Modelo Digital do Terreno (MDT). A aplicação dessas técnicas em regiões onde há uma maior variação do relevo e uma diversidade de elementos, tanto naturais quanto artificiais, sobre o terreno dificulta o processo de filtragem. Diante disto, este artigo tem como objetivo propor uma abordagem para a filtragem de dados para geração de MDT de uma região com tais características. Esses dados foram obtidos por escaneamento a laser aerotransportado utilizando *Light Detection and Ranging* (LiDAR). A área de estudo escolhida corresponde a uma região do bairro do Vasco da Gama, na cidade de Recife, capital Pernambucana. Essa região apresenta, além do relevo acidentado, uma grande concentração de imóveis e a presença de vegetação arbórea e rasteira. Através da análise dos resultados obtidos, pode-se afirmar que os métodos de identificação de bordas baseado na declividade e nos pontos atípicos, ambos utilizando a técnica de preenchimento de polígonos, apresentaram resultado satisfatório quando comparado com os mesmos métodos associados à classificação supervisionada.

Palavras-chave: Filtragem; *Light Detection and Ranging* (LiDAR); Modelo Digital do Terreno (MDT)

Abstract

With the increasing use of the data obtained by the airborne laser scanning to acquire Digital Models, it has been noticed a greater interest in the development of filtering techniques that are able to generate, in an increasingly automatic way, a Digital Terrain Model (MDT). The application of these methods in regions where there is greater variation of the relief and a diversity of elements, both natural and artificial, on the ground hinders the filtering process. Therefore, this article aims to propose an approach for data filtering for MDT generation of a region with these characteristics. These data were obtained by airborne laser scanning using *Light Detection and Ranging* (LiDAR). The study area chosen corresponds to a region of the neighborhood of Vasco da Gama, in the capital of Pernambuco - Recife. This region presents, besides the rugged relief, a great concentration of real estate and the presence of arboreal and undergrowth vegetation. Through the analysis of the obtained results, it can be affirmed that the methods of edge identification based on slope and atypical points, both using the technique of filling of polygons, presented satisfactory result when compared with the same methods associated to the supervised classification.

Keywords: Filtering; *Light Detection and Ranging* (LiDAR); Digital Terrain Model (DTM)



1 Introdução

O Modelo Digital do Terreno representa a superfície do terreno a partir da aplicação de uma ou mais funções matemáticas que descrevam a dita superfície, Silva & Segatine (2015). Modelos que representam apenas o solo exposto recebem a denominação de Modelo Digital do Terreno (MDT), enquanto os que representam também os acidentes sobre o solo exposto são designados de Modelo Digital de Superfície (MDS), DSG (2016). A definição de modelo digital do terreno da DSG será observada nesse artigo, ou seja, o solo exposto será tratado como a superfície sem que os acidentes naturais e artificiais sejam representados.

Independente dos elementos a serem representados pelo modelo, os dados de entrada correspondem a uma amostra pontual tridimensional da superfície. Os métodos de aquisição desses dados evoluíram significativamente nas últimas duas décadas. Atualmente, a aquisição pode ser feita por: medição de campo, fototriangulação, restituição, geocodificação, digitalização de mapas topográficos, levantamento LiDAR - Light Detection And Ranging/ RADAR - Radio Detection and Ranging, cadastramento de metadados e carga em banco de dados, DSG (2016). Convém ressaltar que cada um desses processos tem características próprias em termos de precisão, densidade de amostragem, pré-processamento e preço, Khalid *et al.* (2016).

A transformação de dados pontuais em superfícies contínuas exige o emprego de interpoladores. Esses têm o objetivo de prever o valor de dados não amostrados a partir de dados amostrados. Segundo Burrough & Mcdowell (1986), os interpoladores podem ser classificados em modelos determinísticos de efeito global, modelos determinísticos de efeito local e modelos probabilísticos de efeito global e local.

O levantamento LiDAR é composto por um conjunto de equipamentos ativos, ou seja, independem de fonte de luz externa. Essa tecnologia obtém uma nuvem de pontos tridimensionais, cuja distribuição varia de acordo com o terreno a ser levantado, além de outros parâmetros. Para a coleta dos dados altimétricos é utilizado o LASER - Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation como fonte de energia. A

elevação do terreno é obtida a partir da diferença entre o tempo de emissão e recepção do pulso LASER, Becker & Centeno (2013). Associada a essa elevação, coordenadas planimétricas são também registradas a partir de sistemas acoplados, como o *Global Navigation Satellite System* (GNSS), ao equipamento de coleta. A nuvem de pontos obtida pela tecnologia é de alta densidade, em toda região investigada. Esse fato tem relação direta com a elevada qualidade do modelo a ser gerado. Outra propriedade de destaque é a possibilidade de capturar pontos do terreno, mesmo que estes estejam cobertos por vegetação devido às múltiplas respostas dos pulsos LASER. Ressalta-se ainda que o LiDAR tem menor custo de processamento quando comparado ao processamento de ortofotos. Por esses motivos o LiDAR tem substituído gradualmente os métodos convencionais de aquisição de dados planimétricos, principalmente como fonte de dados para criação de Modelos Digitais, Werbrouck *et al.* (2011).

Segundo Silva & Schuler (2015), no Brasil o escaneamento aerotransportado com o sistema LiDAR foi introduzido em 2001 e tem sido utilizado principalmente para a obtenção de MDT e MDS. Para obter o MDT a partir dos dados brutos do levantamento LiDAR é necessário submetê-los a um processamento que basicamente envolve as seguintes etapas: georreferenciamento, filtragem, interpolação dos pontos da nuvem e por fim, porém nem sempre necessário, a suavização do mesmo. Dentre essas etapas destaca-se a filtragem, cuja finalidade é identificar somente os pontos que representam o solo exposto, Podobnikar & Vrečko (2012).

Coelho *et al.* (2002) e Lohmann *et al.* (2000), definem a filtragem como o processo de retirada dos acidentes naturais e artificiais dos dados brutos LiDAR, assim como a eliminação de erros grosseiros. Esta é realizada a partir de modelos matemáticos definidos por algoritmos, tendo por objetivo a obtenção de Modelos Digitais do Terreno.

De acordo com Mendonça (2017 b) o método de filtragem que apresentou o resultado mais satisfatório para regiões com relevo acidentado foi a combinação dos métodos de identificação de bordas e da classificação supervisionada. Identifica-se que esse último método restringe a generalização por depender

da intervenção de um operador. Em substituição a dita classificação, sugere-se o método de preenchimento de polígonos Mendonça (2017 a). Esse método tem a propriedade de limitar vetorialmente áreas homogêneas, a partir da identificação de suas bordas.

Os métodos de identificação de bordas baseiam-se na análise de zonas de significativa descontinuidade do parâmetro analisado entre elementos vizinhos (Antero & Tommaselli (2009)). Este parâmetro pode ser a altitude, a declividade ou a reflectância, por exemplo. Caso o parâmetro utilizado seja a altitude ou a declividade, as bordas dos elementos sobre o terreno bem como o dossel de árvores, podem ser identificadas. A identificação de bordas por pontos atípicos utiliza os parâmetros altitude e declividade de forma conjunta. Isso se deve ao fato de que os pontos atípicos são definidos como elementos que excedem simultaneamente um limiar de tolerância para a altitude e a declividade, Hawkins (1980) e Mitchell (2005).

Dessa forma, esse artigo tem por objetivo comparar os métodos de filtragens, de uma área acidentada, baseados na identificação de bordas pela

declividade e pelos pontos atípicos. Ambos os métodos associados ao preenchimento de polígonos encontrado em Mendonça (2017 a).

2 Metodologia

2.1 Procedimento Metodológico

Uma nuvem de pontos, resultante de um levantamento LiDAR aerotransportado, foi empregada para testar os métodos de filtragem objeto desse artigo, para criação de MDT vetorial. A Figura 1 mostra o fluxograma das operações envolvidas nesse procedimento.

Dicionário dos dados para a Metodologia da Pesquisa:

Nuvem de pontos: dados brutos de um levantamento LiDAR formados por conjunto de pontos tridimensionais georreferenciados.

Identificação de Bordas baseada na declividade: bordas definidas em função da declividade entre os pontos vizinhos.

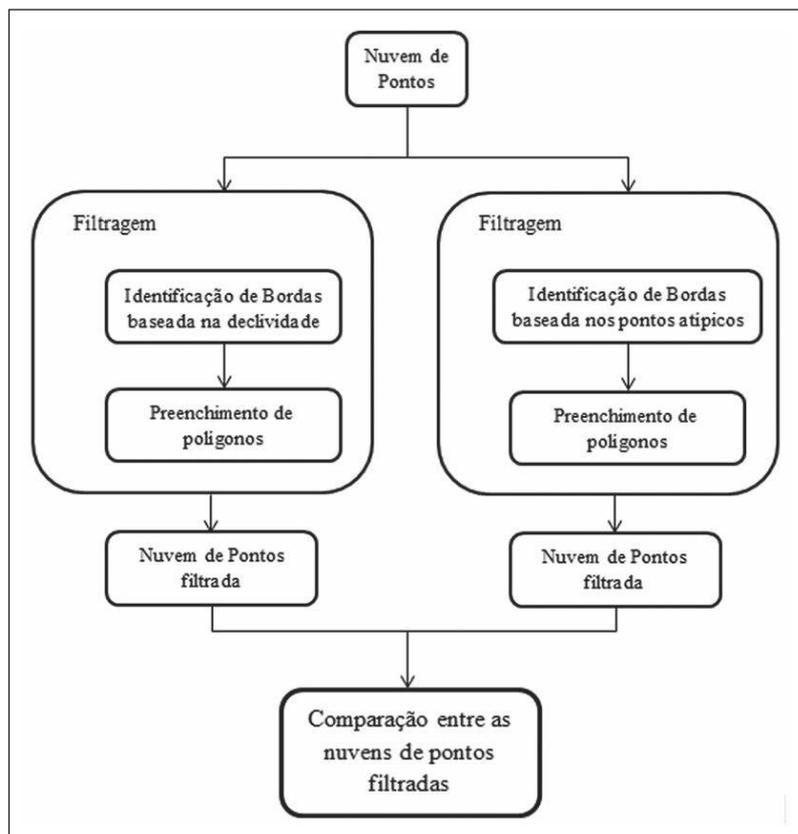


Figura 1 Fluxograma das operações envolvidas para geração do MDT vetorial.

Identificação de Bordas baseada nos pontos atípicos: bordas definidas em função de pontos considerados atípicos em relação aos seus vizinhos.

Preenchimento de polígonos: a partir das bordas identificadas, este procedimento tem por objetivo identificar vetorialmente às áreas homogêneas limitadas por elas.

Nuvem de pontos filtrada: nuvem de pontos obtida após a retirada dos pontos identificados como bordas e dos pontos contidos nos polígonos definidos pelo procedimento anterior.

Comparação entre as nuvens de pontos filtradas: análise comparativa entre os resultados obtidos.

2.2 Área de Estudo

A área de estudo escolhida corresponde a uma região do bairro do Vasco da Gama, na cidade de Recife, capital Pernambucana. Segundo a Prefeitura do Recife (2017) o bairro faz parte de uma ZEIS (Zona Especial de Interesse Social), apresentando uma área de 160 ha, densidade demográfica de 193,38 hab/ha, possui 9.113 domicílios com renda média mensal de R\$1.165,90. Destaca-se ainda que a região conta com

relevo acidentado e edificações de até dois pavimentos, em sua grande maioria. A Figura 2 apresenta a área de estudo em destaque numa ortofoto.

2.3 Base de Dados Espaciais

A base de dados espaciais utilizada consiste na nuvem de pontos com dados de elevação e ortofoto digital colorida. Esses dados são resultantes do levantamento LiDAR apoiado por fotogrametria no ano de 2013, executado pela empresa ENGEFOTO. A Prefeitura do Recife é proprietária do levantamento e o disponibilizou para uso exclusivamente acadêmico.

3 Resultados e Discussões

No tocante a nuvem de pontos observa-se que essa contém 290.862 pontos, provenientes do levantamento LiDAR, com indicadores estatísticos mostrados na Tabela 1.

Observa-se na Tabela 1 que os pontos da área de estudo possuem uma distribuição assimétrica positiva e uma curva de frequência aberta, platicúrtica, com valores de média, moda e mediana, significativamente diferentes. Esses indicadores mostram uma distribuição que foge aos padrões da normalidade, evidenciando a complexidade da superfície.

Figura 2 Área de estudo, localizada no bairro Vasco da Gama, Recife - PE.



INDICADOR	VALOR
Quantidade de pontos	290.862
Menor (Altura)	20,14 m
Maior (Altura)	91,28 m
Média (Altura)	48,51444 m
Mediana	40,33 m
Desvio Padrão:	20,16665
Moda	78,11 m
Assimetria	0,54811
Curtose	-1,22791

Tabela 1 Indicadores estatísticos de altitude da nuvem da área de estudo.

A distribuição espacial dos pontos da nuvem pode ser classificada como amostra regular de transectos, ou dispersa, como definido por Burrough & Mcdowell (1998). A comprovação dessa distribuição se processa pelo modelo da Distância Média aos Vizinhos Próximos, que examina conjunto de dados discretos e os classifica em agrupados, dispersos ou distribuídos aleatoriamente. Esse modelo é empregado e detalhado por Ebert *et al.* (2014). A Figura 3 apresenta esse modelo aplicado à nuvem de pontos da área de estudo.

No tocante a identificação de bordas baseada na declividade, pode-se afirmar que quanto menor a distância entre dois pontos e maior a diferença de altitude entre eles, maior será a declividade. A Figura 4 apresenta a nuvem de pontos da área de estudo com as respectivas declividades em graus, estratificadas em cinco classes pelo método de cluster, segundo o algoritmo de Jenks.

Os clusters, segundo Jenks (1967), são únicos para cada conjunto de pontos de entrada. O último estrato representa as regiões de borda e o dossel das árvores. Dessa forma foram selecionados os pontos que apresentaram declividade maior que 71°, inteiro mais próximo do limite à esquerda do último estrato. Em seguida esses pontos foram agregados com o objetivo de criar polígonos que sobreponham toda a região de borda. Essa agregação foi feita entre pontos cuja distância máxima entre si fosse de até 1,7 m. Para a definição desse valor, foram feitos testes com diferentes valores e os resultados obtidos foram avaliados. Essa avaliação analisou a quantidade de elementos do solo exposto que foram considerados erroneamente como bordas.

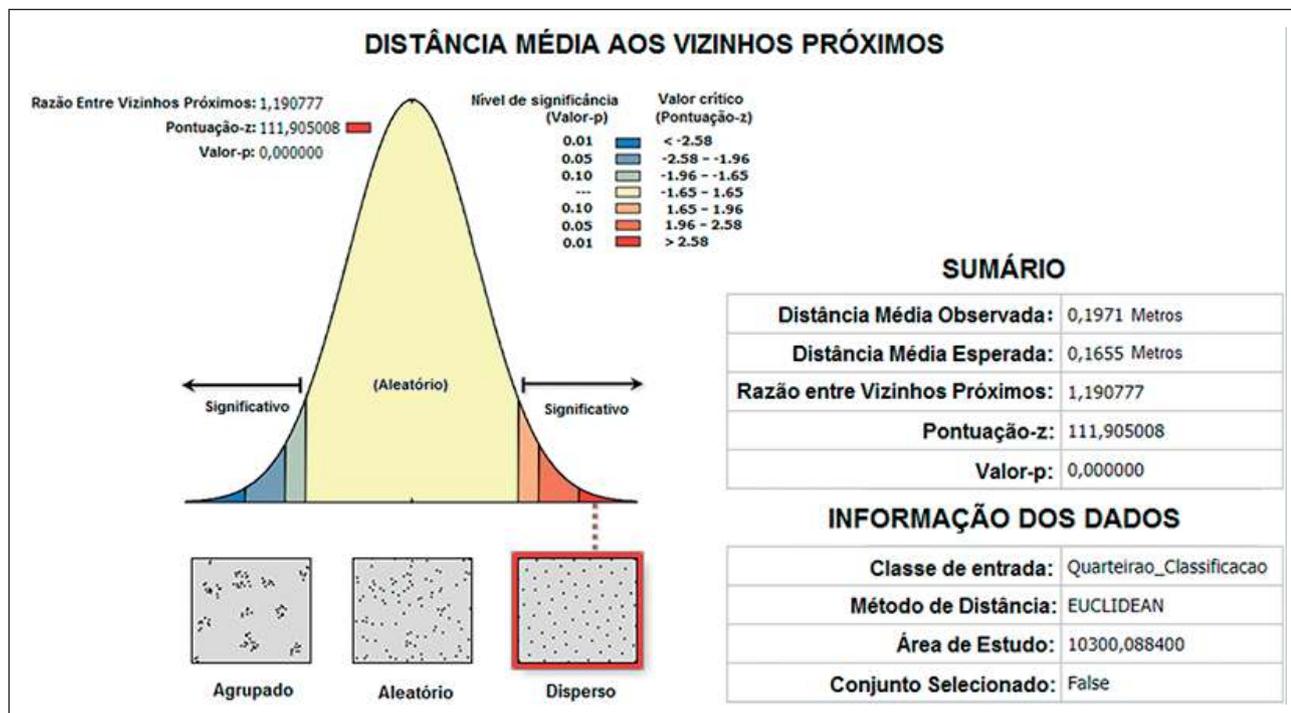


Figura 3 Modelo da Distância Média aos Vizinhos Próximos, aplicado à nuvem de pontos da área de estudo.

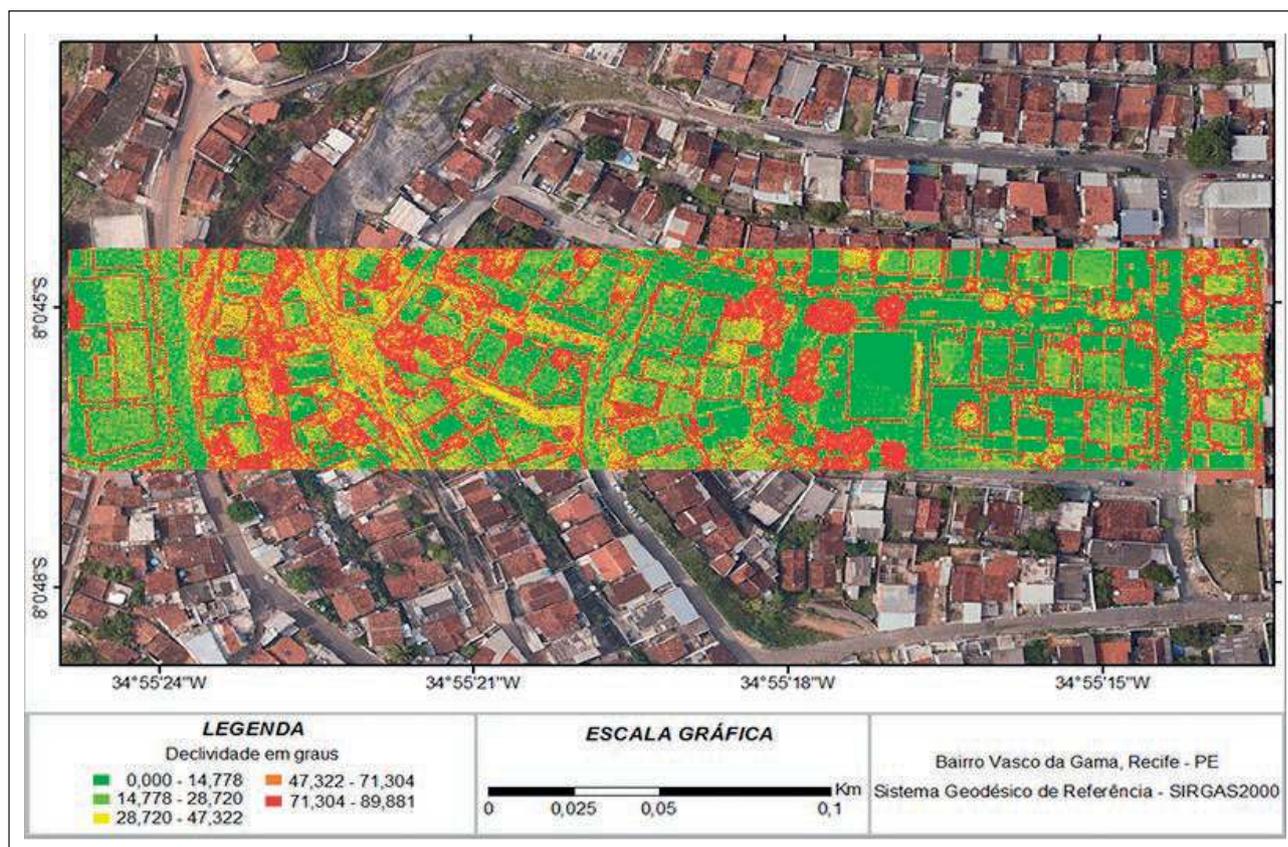


Figura 4 Nuvem de pontos da área estudada com declividades agrupadas em cinco intervalos.

Até esse momento foram identificadas apenas as bordas de alguns elementos sobre o solo exposto e o dossel das árvores. Para que os pontos internos às bordas sejam identificados, foi utilizado o método de preenchimento de polígonos encontrado em Mendonça (2017 a). A Figura 5 apresenta o resultado dessa técnica, aplicada aos polígonos de agregação dos pontos com declividade maior que 71° .

Com o objetivo de obter a nuvem de pontos correspondente ao solo exposto, resultante deste método, foram eliminados os pontos sobrepostos pelo polígono apresentado na Figura 5. A Figura 6 representa o resultado final desse método. Nela observa-se na Figura 6 que alguns elementos do solo exposto não foram identificados por esse método, ocorrendo principalmente na região de maior declividade (região centro-oeste da área de estudo).

No tocante a identificação de bordas baseada nos pontos atípicos, é necessário estabelecer um

limiar de tolerância. Esse limiar é definido através de três parâmetros:

Tolerância de elevação: parâmetro que define limiar de tolerância para diferença de elevação entre pontos vizinhos;

Tolerância de declividade: define o limiar de tolerância de declividade entre pontos vizinhos, expresso em porcentagem;

Tolerância de limiares excedidos: define a quantidade de pontos da vizinhança que precisam exceder os limiares de altitude e declividade para que o ponto seja considerado atípico.

Dentre as combinações de valores de cada parâmetro testadas, a que apresentou o melhor resultado para a área de estudo foi:

Tolerância de elevação: 1 m;

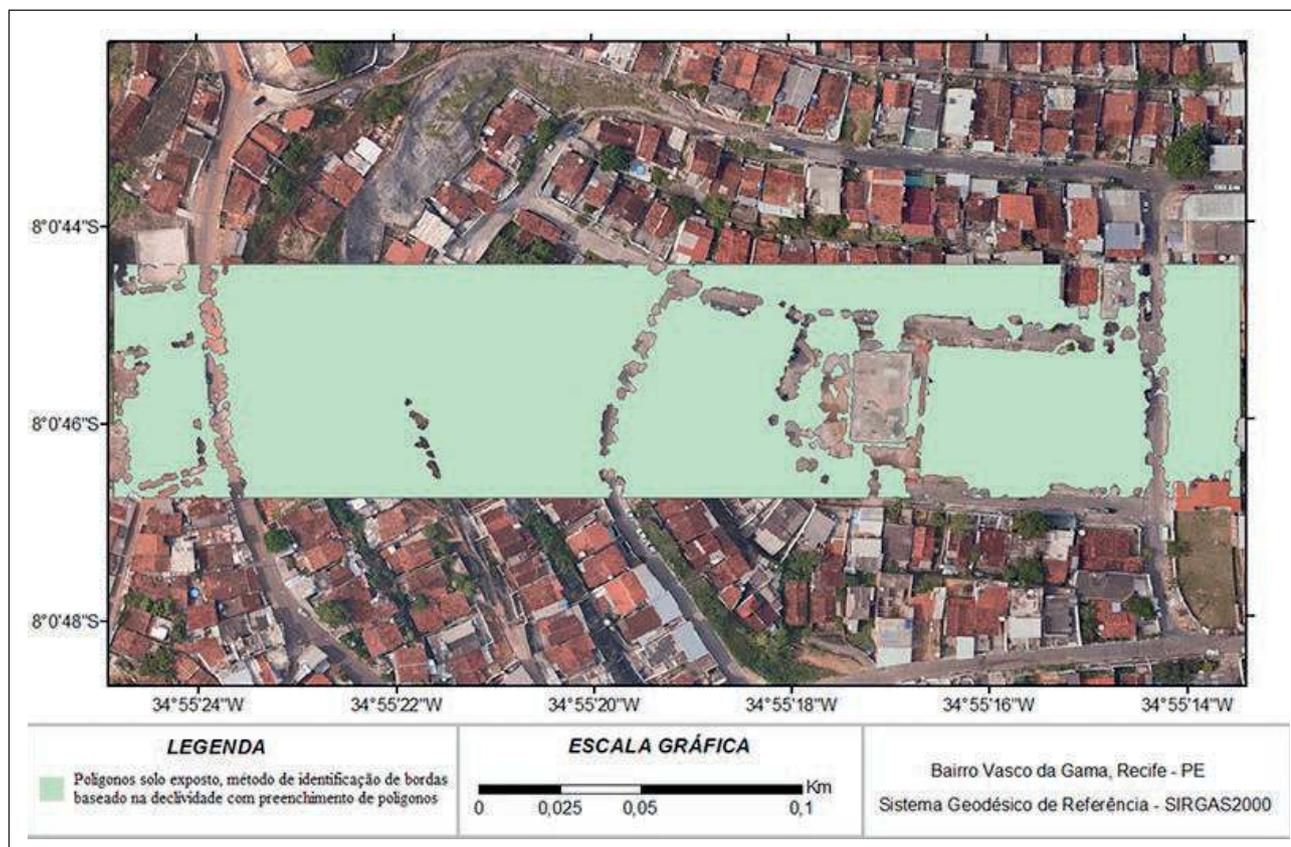


Figura 5 Preenchimento de polígonos, aplicado aos polígonos de agregação dos pontos com declividade maior que 71°.

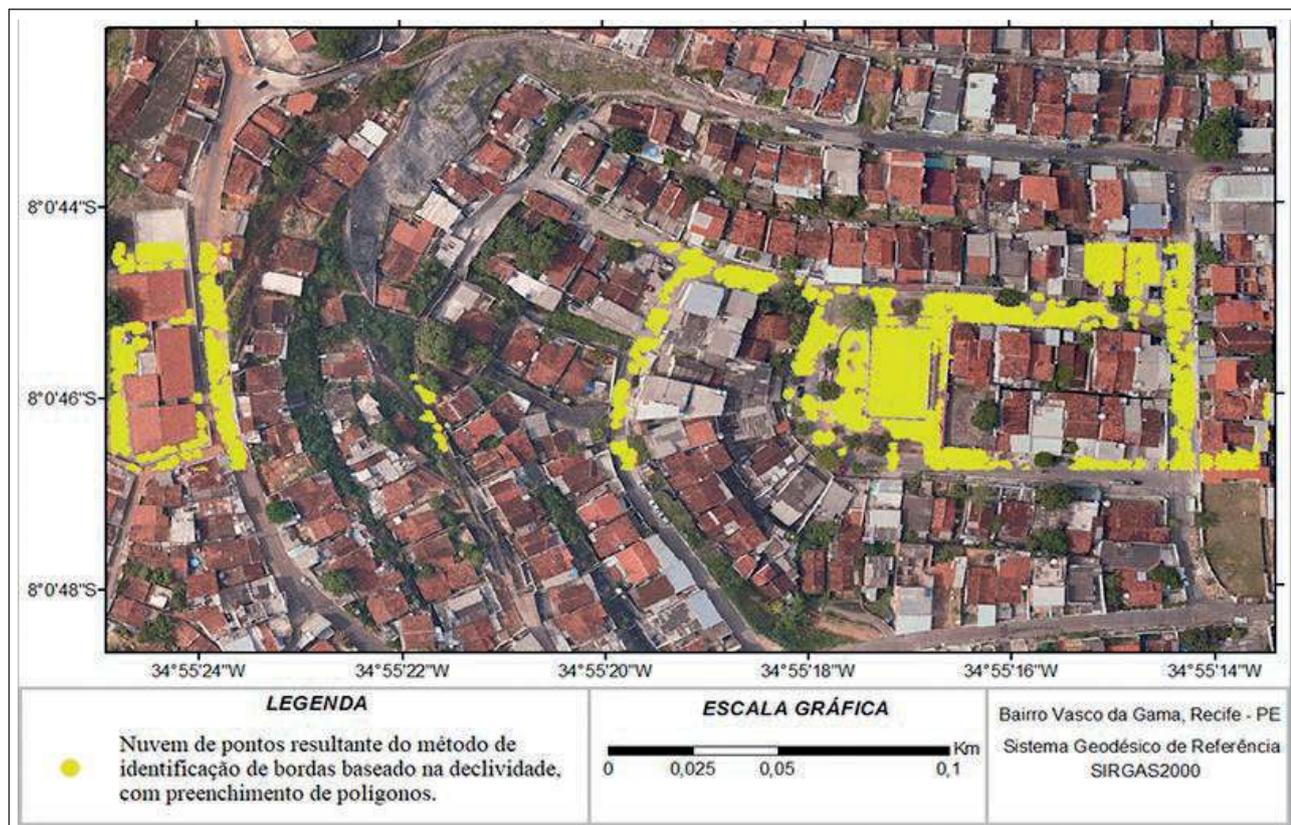


Figura 6 Resultado do método de filtragem a partir da identificação de bordas por declividade.

Tolerância de declividade: 250%;

Tolerância de limiares excedidos: 30%.

O conjunto de pontos identificados utilizando esses parâmetros foi agregado em polígonos segundo os mesmos parâmetros utilizados pelo método de identificação de bordas por declividade. A Figura 7 apresenta o resultado dessa etapa.

Em seguida foi aplicado o método de preenchimento de polígono, mostrado na Figura 8.

Finalmente, os pontos correspondentes ao solo exposto identificado por esse método estão presentes na Figura 9.

Com base nos resultados obtidos até o momento, observa-se que os métodos resolveram a contento o problema da identificação dos pontos do solo exposto para uma região de relevo acidentado. A comparação entre os métodos de filtragem se processará pela especificação de um padrão ouro do solo exposto. Entende-se por padrão ouro, o conjunto de dados ideal, aceito como o padrão de referência ao qual

os outros devem ser comparados. O padrão ouro representado na Figura 10, utilizado para análise dos métodos, foi obtido através de fotointerpretação, reambulação e a consequente digitalização dos polígonos representativos do solo exposto.

A probabilidade condicional foi o indicador estatístico empregado na análise. As duas amostras independentes utilizadas foram a nuvem de pontos contida no padrão ouro e a resultante de cada método. A interseção entre elas representa o conjunto de pontos classificados corretamente como solo exposto. A Figura 11 apresenta o diagrama de Venn dessa situação.

Os dois parâmetros analisados foram:

A probabilidade de um ponto pertencer ao padrão ouro, dado que ele pertence à nuvem resultante do método (percentual de acerto em relação ao tamanho da nuvem de pontos resultante do método);

A probabilidade de um ponto pertencer à nuvem resultante do método, dado que ele pertence ao padrão ouro (percentual de acerto em relação ao tamanho da nuvem de pontos contida no padrão ouro).

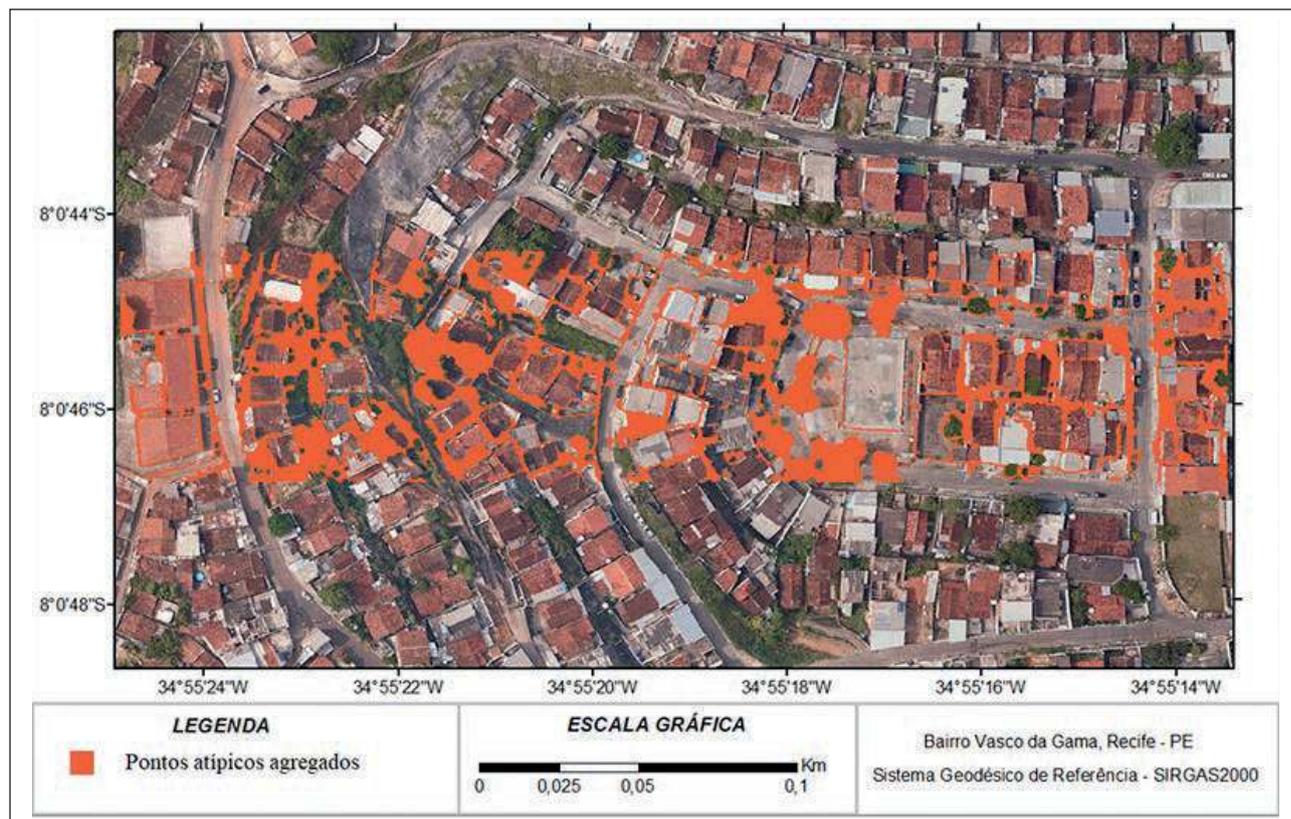


Figura 7 Pontos atípicos agregados.

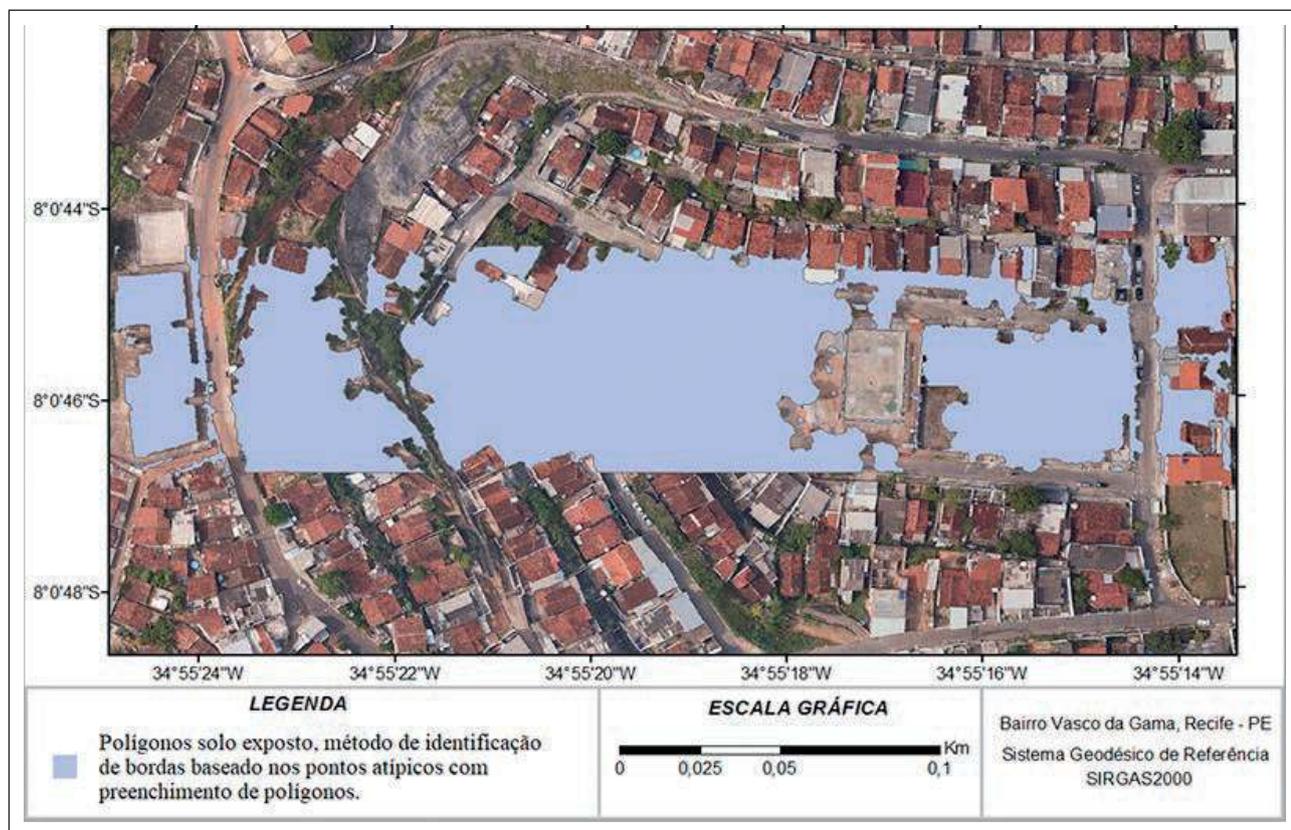


Figura 8 Preenchimento de polígonos, aplicado aos polígonos de agregação dos pontos atípicos.

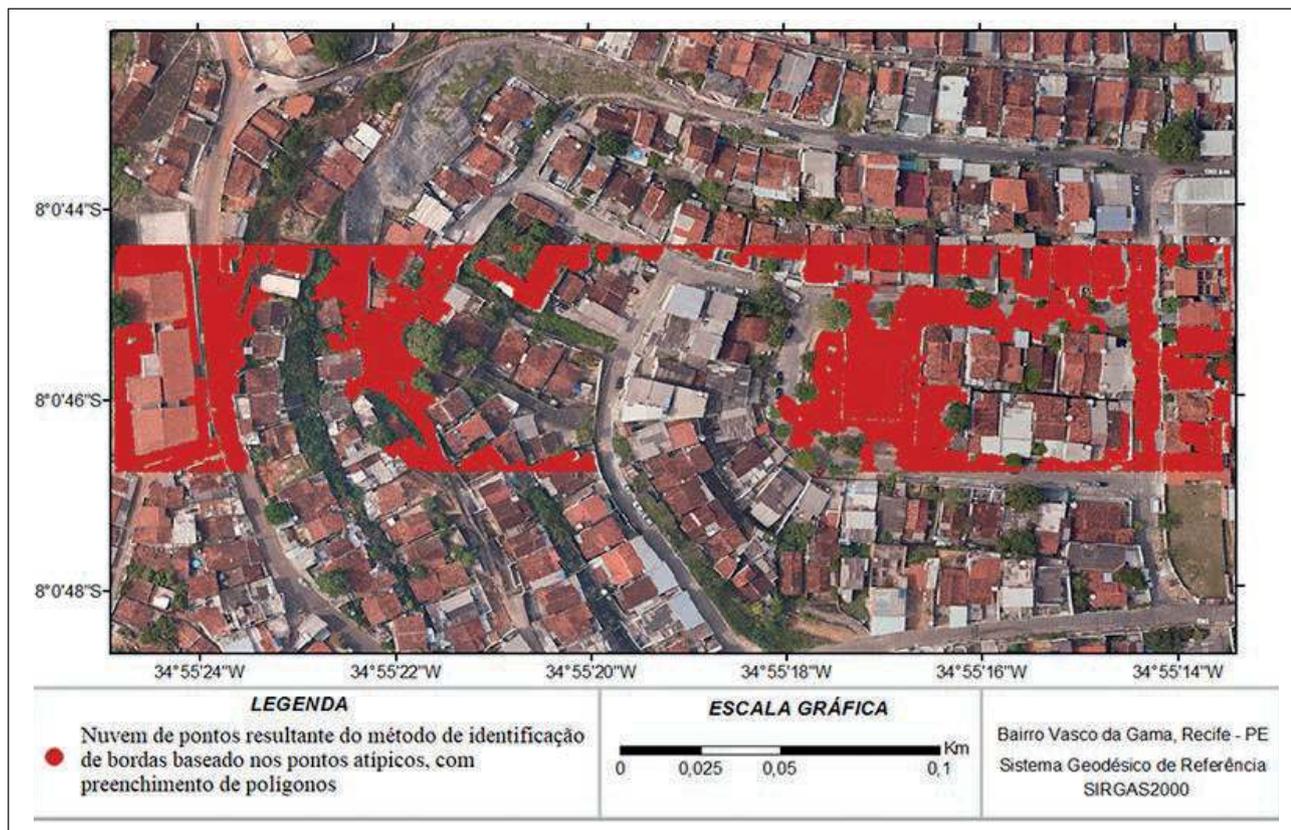


Figura 9 Resultado do método de filtragem a partir da identificação de bordas baseado nos pontos atípicos.

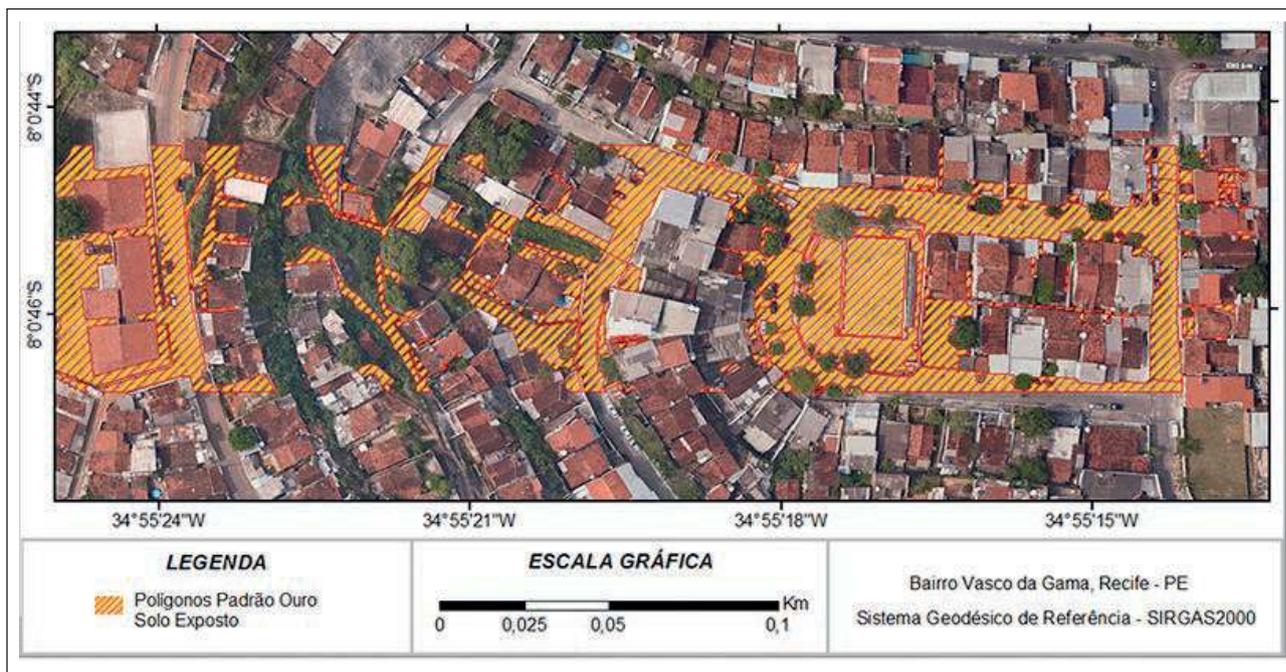


Figura 10 Solo exposto digitalizado, padrão ouro utilizado para análise dos resultados.

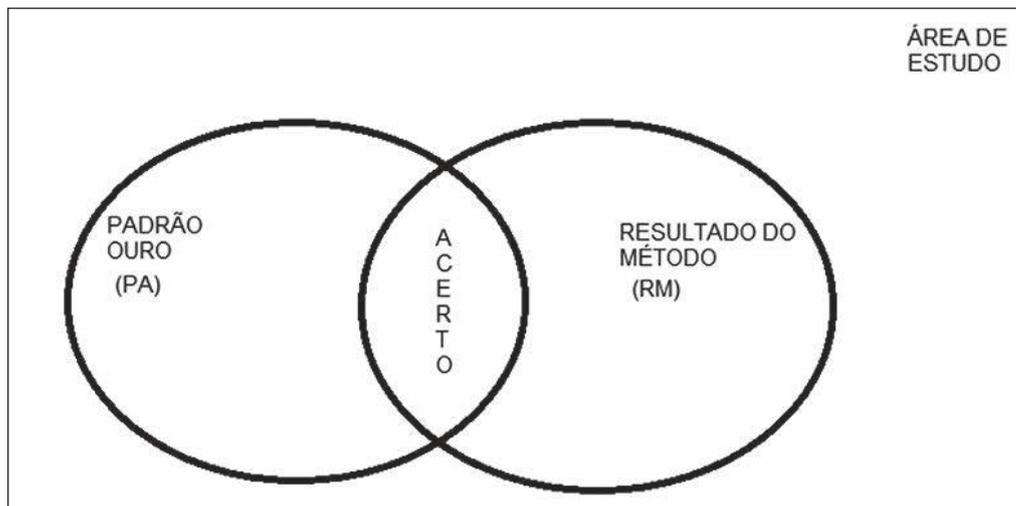


Figura 11 Diagrama de Venn para as amostras analisadas.

As Equações 1 e 2 relacionam as variáveis do parâmetro i e ii, respectivamente:

$$P(PA|RM) = \frac{|PA \cap RM|}{|RM|} \quad (1)$$

$$P(RM|PA) = \frac{|PA \cap RM|}{|PA|} \quad (2)$$

Onde PA representa a nuvem de pontos contida no padrão ouro e RM a nuvem de pontos resultante de cada método.

A análise de probabilidade condicional indica que o percentual de acerto do método 2 foi de 85%, enquanto que a do método 1 foi de 57%. Com isso, pode-se afirmar que a nuvem de pontos resultante do método 2 contém 15% de pontos que não representam o solo exposto e que a do método 1 contém 43% desses pontos. Continuando a análise observa-se que apenas 36% de todo o solo exposto da área de estudo foi identificado pelo método 2 e que o método 1 foi capaz de identificar 51%. Isso significa que o método 2 possui baixo grau de identificação

Método	RM	PA	Acerto	Perc. Acerto RM(i.)	Intervalo de conf. Acerto RM	Perc. Acerto PA (ii.)	Intervalo de conf. Acerto PA
Método 1	84677	95911	48589	0,57	0,57<=P<=0,57	0,51	0,51<=P<=0,51
Método 2	40406	95911	34544	0,85	0,85<=P<=0,85	0,36	0,36<=P<=0,36

A Tabela 2 apresenta o resultado da probabilidade condicional aplicada a cada método.

Método 1: Identificação de bordas baseada na declividade, com preenchimento de polígonos;

Método 2: Identificação de bordas baseada nos pontos atípicos, com preenchimento de polígonos;

do solo exposto e alto grau de acerto. Diferente do método 1, que apresenta valores médios tanto para a quantidade de acerto, quanto para a identificação do solo exposto da área de estudo.

4 Conclusões

O uso crescente do escaneamento a laser torna seus produtos cada vez mais acessíveis a profissionais e pesquisadores. Através desses produtos é possível obter o Modelo Digital do Terreno desde que sejam empregados métodos de filtragem de pontos, entre outros. Esses métodos têm como objetivo adquirir uma nuvem de pontos que representam apenas o solo exposto. A sua aplicação em regiões de relevo acidentado apresentou dificuldades na identificação e filtragem desses pontos, porque a influência do relevo é mais significativa que a diferença de elevação entre os elementos sobre o solo exposto e o solo exposto.

Com o objetivo de minimizar a influência do relevo, foi utilizada a declividade e os pontos atípicos como métodos de identificação de bordas. Estes métodos associados ao método de preenchimento de polígonos possibilitou a identificação satisfatória de elementos que não fazem parte do solo exposto, para área de estudo analisada.

O método de identificação de bordas baseado nos pontos atípicos apresentou um maior desempenho em relação ao método baseado na declividade, analisando o percentual de acerto da nuvem de pontos resultante do método. Porém, a identificação do solo exposto de toda a área de estudo foi 15% menor que o apresentado pelo método da declividade.

Considerando que o método de preenchimento de polígonos requer uma menor iteração do usuário e que apresentou um resultado satisfatório para o método de filtragem em uma região acidentada. Pode-se afirmar

que ela é uma ferramenta não supervisionada e que permite uma solução generalista, possibilitando a sua aplicação a áreas de estudo diversas. Dessa forma, o resultado obtido por esse artigo torna-se relevante na busca por técnicas de filtragens de dados LiDAR cada vez mais automáticas.

5 Agradecimentos

Os autores agradecem à CAPES e ao CNPQ pelo apoio através de bolsas no desenvolvimento desse trabalho e à Prefeitura da Cidade do Recife pela cessão das ortofotos e nuvens de pontos LiDAR.

6 Referências

- Antero, A.O. & Tommaselli, A.M.G. 2009. Detecção e afinamento de bordas em direções previamente conhecidas. *Boletim de Ciências Geodésicas*, 15(2): 157 - 177.
- Becker, J.H. & Centeno, J.A.S. 2013. Avaliação de Métodos de Filtragem de Nuvem de Pontos Derivados do Sistema Laser Scanner Aerotransportado para Obtenção de MDT. *Revista Brasileira de Cartografia*, 65(4): 651 - 659.
- Burrough, P. & McDonnell, R. 1998. Principles of geographical information systems. 2. Ed. Oxford University Press, 352 p.
- Coelho, A.H.; Vögtle, T.; Weindorf, M. & Bähr, H.P. 2002. Utilização do método de pirâmide de imagens para a extração de modelos digitais de terreno de imagens geradas por dados de laser scanner. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO TÉCNICO MULTIFUNALITÁRIO (COBRAC), 2002, Florianópolis, UFSC, Florianópolis, UFSC.
- DSG - DIRETORIA DE SERVIÇOS GEOGRÁFICOS. 2016. Norma da Especificação Técnica Para Produtos de Conjuntos de Dados Geospaciais. 2. ed. Brasília.
- Ebert, C.E.; Pruffer, K.M.; Macri, M.J.; Winterhalter, B. & Kennett, D.J. 2014. Terminal long count dates and the disintegration of classic period maya polities. *Ancient Mesoamerica*, 25: 337-356.
- Hawkins, D.M. 1980. *Identification of Outliers*. 1. Ed. London, Springer Netherlands. 127p.
- Jenks, G.F. 1967. The Data Model Concept in Statistical Mapping. *International Yearbook of Cartography*, 7: 186-190.

- Khalid, N.F.; Din, A.H.M.; Omar, K.M.; Khanan, M.F.A.; Omar, A.H.; Hamid, A.I.A. & Pa'suya, M.F. 2016. Open-Source Digital Elevation Model (DEMs) Evaluation With GPS And LIDAR Data. *International Society for Photogrammetry and Remote Sensing - ISPRS*, 42: 277-286.
- Kraus, K. & Pfeifer, N. 1998. Determination of Terrain Models in Wooded Areas with Airborne Laser Scanner Data. *Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 53: 193-203.
- Lohmann, P.; Koch, A. & Schaeffer, M. 2000. Approaches to the filtering of laser scanner data. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, 33: 540-547.
- Mendonça, R.L. 2017 a. *Filtragem de dados LIDAR de área plana para geração de modelo digital do terreno. Trabalho de conclusão de curso*. Recife: Universidade Federal de Pernambuco, Curso de Engenharia Cartográfica, Departamento de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura, 62p.
- Mendonça, R.L. 2017 b. *Filtragem de dados LIDAR para geração de modelo digital do terreno*. Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, Universidade Federal de Pernambuco, Dissertação de Mestrado, 72p.
- Mitchell, A. 2005. The ESRI Guide to GIS Analysis, 2, ESRI Press. 252 p.
- Pfeifer, N.; Kostli, A. & Kraus, K. 1998. Interpolation and filtering of laser scanner data—implementation and first results. *International Society for Photogrammetry and Remote Sensing - ISPRS*, 32: 153-159.
- Podobnikar, T. & Vrečko, A. 2012. Digital Elevation Model from the Best Results of Different Filtering of a LiDAR Point Cloud Transactions in GIS. *Transactions in GIS*, 16(5): 603-617.
- Prefeitura do Recife. 2013. Relatório de Atividades Executadas: 2013, 2. Recife. 32p.
- Silva, I. & Segantine, P.C.L. 2015. Topografia para Engenharia: Teoria e Prática de Geomática. Rio de Janeiro, Elsevier, 412p.
- Silva, M.V. & Schuler, C.A.B. 2002. Avaliação de dados planimétricos LiDAR para áreas urbanas: Recife - PE. *Revista Brasileira de Cartografia*, 67: 1103-1117.
- Werbrouck, I.; Antrop, M.; Van Eetvelde, V.; Stal, C.; De Maeyer, P.; Bats, M.; Bourgeois, J.; Court-Picon, M.; Crombé, P.; De Reu, J.; De Smedt, P.; Finke, P.A.; Van Meirvenne, M.; Verniers, J. & Zwertvaegher, A. 2011. Digital elevation model generation for historical landscape analysis based on LiDAR data: a case study in Flanders (Belgium). *Expert Systems with Applications*, 38(7): 8173–8185.