

## **Mobile Laser Scanning: filtragem dos dados utilizando o método do bloco mínimo**

Luan Caio de Águas <sup>1</sup>  
Paulo Leoncio da Silva de Melo <sup>2</sup>  
Paula Debiasi <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Metro Cúbico Engenharia  
Rio de Janeiro – RJ, Brasil  
luan.caio@metrocubicoengenharia.com.br

<sup>2</sup> Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro - UFRRJ  
Caixa Postal 23890-000 - Seropédica - RJ, Brasil  
{pauloleoncio, paula}@ufrj.br

**Abstract.** The advent of laser scanning systems, terrestrial or aerial platforms, makes possible to get many points with three-dimensional coordinates of the Earth's surface thus enabling mappings with great accuracy and abundance data. One of these applications is to obtain a digital terrain model (DTM) from the point cloud generated with Mobile Mapping System (MLS). However, just as in the processing of the data obtained by aerial systems, the MLS data also require to apply a filtering of unwanted data. The problem is to separate the points belonging to the terrain and that not belong, than trees, edifications and obstructions overall. The present study utilized an MLS with a LASER model Riegl VMZ-450 equipped with a camera model Ladybug 5. This case study, survey with MLS of SP121, aimed to generate an DTM from the point cloud, filtering on block-minimum present in RiPROCESS software. From the different filter settings, tests were generated and compared DTMs with the filtered point clouds for identify the filtering behavior in different situations (high vegetation, medium, low, transmission line, etc.). The software used did not provide complete removal efficiencies of points not belonging to the terrain.

**Palavras-chave:** Filtering, point clouds, block-minimum, filtragem, nuvem de pontos, bloco mínimo.

### **1. Introdução**

O desenvolvimento de tecnologias para levantamentos topográficos tem reduzido o tempo e o custo de coleta, e ainda, melhorado a qualidade dos dados se comparados com métodos convencionais de mapeamento, tais como estação total e/ou *Real Time Kinematic* (RTK). Neste contexto, o surgimento do *Light Detection and Ranging* (LIDAR), que consiste na emissão de pulsos *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation* (LASER) em direção aos alvos para a obtenção de coordenadas georreferenciadas, se apresenta como uma tecnologia promissora na aquisição de dados espaciais. O *Mobile Laser Scanner* (MLS) combina numa plataforma móvel, aerotransportada ou terrestre, vários sensores que operam em conjunto e exercem separadamente a função de coletar um respectivo tipo de dado que, após processado e integrado com os demais, proporciona a reconstrução tridimensional da superfície topográfica. Dentre os sensores que compõe o MLS pode-se destacar: receptor *Global Navigation Satellite System* (GNSS), que registra a posição da plataforma em intervalos de tempo fixos e, com o uso de outro receptor GNSS como base, determina por pós-processamento as coordenadas X, Y e Z da plataforma; sistema de Navegação Inercial (INS – *Inertial Navigation System*), formado por uma unidade contendo três acelerômetros e três giroscópios (IMU – *Inertial Measurement Unit*) que permitem determinar a atitude da plataforma através da medição da sua aceleração e velocidade angular em torno dos eixos X, Y e Z; *Laser Scanner* que armazena o intervalo de tempo de emissão e recepção de cada pulso, permitindo calcular a distância do sensor até o alvo situado no terreno, bem como a resposta espectral de cada objeto varrido (HABIB *et al.*, 2008). Além desses sensores, dispositivos auxiliares como câmeras digitais panorâmicas e medidores de distância percorrida (DMI – *Distance Measurement Indicator*) são utilizados para obtenção de melhores resultados e dados extras que facilitam a confecção do produto final desejado.

O MLS tem se destacado pela rapidez e economia de recursos, sendo empregado em conjunto com outras técnicas de mapeamento tradicionalmente utilizadas ou até mesmo como única fonte de dados. Para a elaboração de um projeto de duplicação ou de manutenção de uma rodovia, é de fundamental importância a obtenção de um Modelo Digital de Terreno (MDT) que represente fielmente as feições presentes na faixa de domínio. A geração MDT's implica na disponibilidade de um grande conjunto de dados espaciais, como pontos do terreno com precisão, em geral, da ordem de decímetros ou centímetros (RIEGER *et al.*, 1999). Para a obtenção de dados confiáveis, vários cuidados devem ser tomados no planejamento e execução do levantamento com MLS como: identificação da área a ser levantada; avaliação de dificuldades (buracos na pista, horários de muito tráfego, densidade de mata na faixa de domínio, etc); planejamento da melhor configuração de satélites visíveis; processamento e correção da trajetória; geração, georreferenciamento, ajuste, modelagem, filtragem e classificação da nuvem de pontos; e finalmente a obtenção do MDT.

A filtragem da nuvem de pontos consiste na eliminação de alvos indesejados comumente encontrados pelos feixes do *Laser Scanner*, atrapalhando, ou até, impossibilitando a obtenção dos dados para geração do MDT. Como exemplo, pode-se citar a eliminação de vegetação, edificações, pessoas, veículos, etc. O problema central, na produção de MDT em áreas urbanas e rodovias, é separar os pontos correspondentes ao terreno daqueles originados em construções e vegetação (MORO; CENTENO, 2010). Segundo Dal Poz (2013), a vegetação é o tipo de alvo indesejado mais presente na faixa de domínio de rodovias de ligação intermunicipal. Na filtragem de dados obtidos com MLS, pode-se utilizar diferentes filtros desenvolvidos especificamente para este fim. Para a identificação de pontos fora do terreno, é necessário definir um parâmetro que seja característico de pontos no terreno e verificar em toda a nuvem quais pontos que não obedecem a essa propriedade. Os parâmetros mais comumente utilizados para este fim são:

- Declividade: Segundo Vosselman (2000), a ideia desse filtro é de que, considerando a diferença 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.

- Superfície: Um ponto pertence ao terreno se, para qualquer ponto, 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 (Vosselman, 2000).

- Segmentação: O conjunto de dados é inicialmente segmentado e depois classificado, considerando que os pontos de um segmento (*cluster*) não pertencem ao terreno se a altura do segmento estiver acima do segmento na vizinhança.

- Bloco Mínimo: Este método considera uma zona de *buffer* acima de um plano horizontal, onde se espera que residam os pontos pertencentes ao terreno.

Dentro deste contexto, este trabalho tem como objetivo apresentar os resultados obtidos na da nuvem de pontos advinda de um levantamento MLS de um trecho de uma rodovia a partir de três diferentes configurações de filtros pelo bloco mínimo.

## 2. Levantamento e processamento dos dados do MLS

O MLS empregado nesta pesquisa da marca Riegl, modelo VMX-450, é integrado com uma câmera panorâmica LadyBug 5 de forma a facilitar o processo de reambulação. Para a execução dos experimentos de filtragem da nuvem de pontos MLS, foi utilizado de um levantamento em um trecho de 5 km da Rodovia SP-121, que liga os municípios de Taubaté e Redenção da Serra no estado de São Paulo.

Anteriormente à captura dos dados de campo com o MLS, foram pré-sinalizados 6 alvos para servirem como controle do levantamento. Estes pontos foram dispostos a cada quilômetro do trecho da rodovia levantada (Figura 1). A determinação das coordenadas dos

alvos foi realizada por nivelamento geométrico e rastreamento com receptor GNSS, de forma a garantir precisões superiores às obtidas pelo MLS.

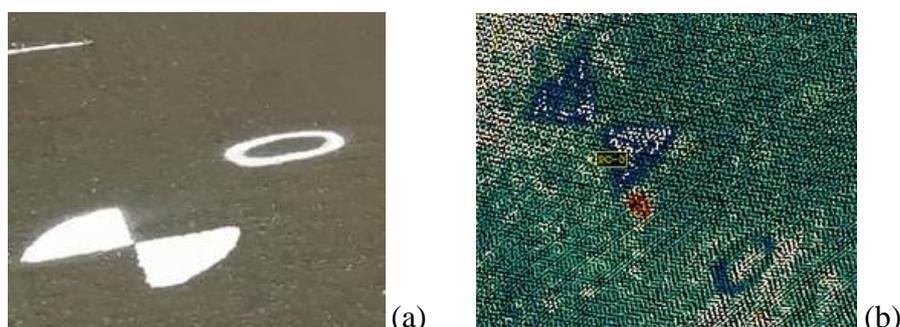


Figura 1: (a) Fotografia Ponto de Controle pré-sinalizado (b) Ponto de Controle visualizado na nuvem do MLS

Além da pré-sinalização de alvos, foi necessário o alinhamento dinâmico dos sensores do MLS antes do início do levantamento. Este processo consiste em realizar manobras com o veículo, que incluem aceleração, frenagem e giros à direita e à esquerda. Após as precisões do IMU atingirem aproximadamente  $0,050^\circ$ ;  $0,050^\circ$  e  $0,075^\circ$  para *roll*, *pitch* e *yaw*, respectivamente, iniciou-se o alinhamento estático, que consiste em manter o veículo parado em um local de vasto horizonte GNSS por mais de 5 minutos. Este processo deve ser repetido no final do levantamento ou mesmo quando as precisões GNSS atingem valores superiores a 2 metros para coordenadas X, Y, e Z.

O levantamento MLS do trecho da rodovia SP 121 foi realizado com velocidade média de tráfego de 40 km/h e frequência de coleta de 720 Khz, ou seja, 720.000 pontos coletados por segundo. O intervalo de gravação GNSS foi configurado para 1 segundo, assim como o intervalo de gravação do IMU. A frequência de disparo da câmera RGB Ladybug 5 foi de uma fotografia a cada 20 metros de deslocamento do veículo.

O processo de geração de um MDT através de dados MLS pode ser esquematizado conforme a Figura 2.

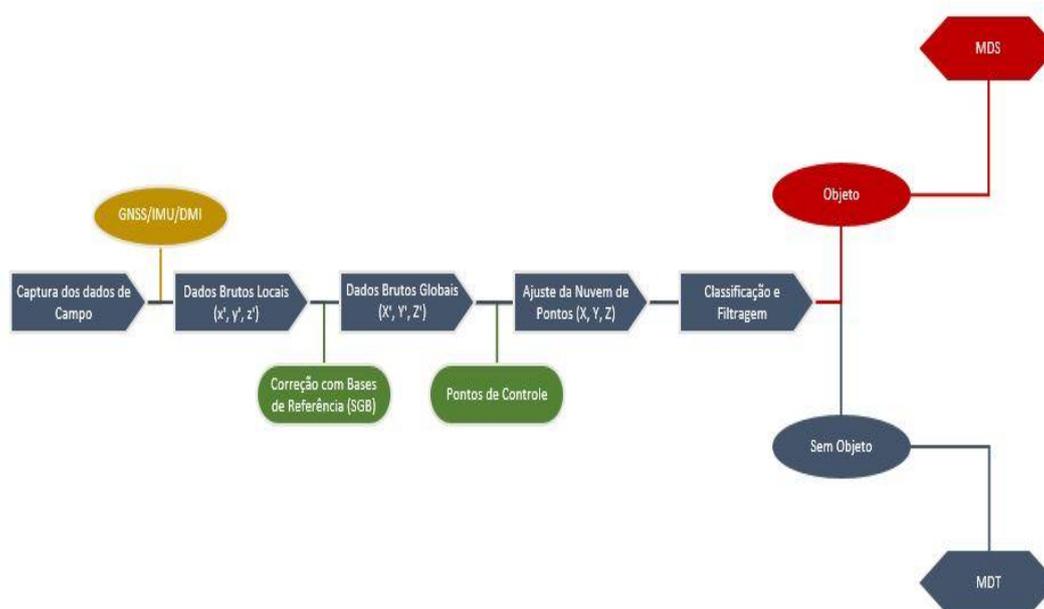


Figura 2: Esquema de tratamento de dados MLS

Para o processamento dos dados coletados pelo MLS, foi inicialmente realizada a integração dos dados GNSS/IMU/DMI e a nuvem de pontos bruta obtendo-se assim a nuvem de pontos em coordenadas locais. O processamento da trajetória foi realizado com o emprego do filtro de Kalman implementado no *software* Pospacv 6.2. A partir do processamento da trajetória, os dados do IMU e do DMI foram integrados e corrigidos em relação aos dados de rastreamento da base GNSS, sendo gerados os arquivos SBET (*Smoothed Best Estimate of Trajectory*) e SMRMSG (precisão de cálculo de trajetória em cada ponto). Para obtenção da melhor trajetória estimada, o *software* realiza o cálculo em sentido de ida da trajetória, calcula novamente em sentido oposto e por último recalcula em sentido de ida de forma precisa. O arquivo SBET é o resultado da união das três trajetórias calculadas, elegendo a melhor precisão em cada ponto.

O *Laser Scanner*, assim como os sensores GNSS, IMU e DMI, coleta os dados de forma independente, porém, precisamente sincronizados. Logo, há a necessidade de integrar os arquivos de pontos à trajetória processada. Nesta etapa, também se realiza a transformação de sistema de referência, definindo-se um sistema de projeção e modelo geoidal. Neste trabalho, o Sistema de Referência utilizado foi SIRGAS-2000, a Projeção Cartográfica utilizada foi a *Universal Transverso de Mercator* (UTM) e o modelo geoidal aplicado foi o MAPGEO-2010. Outra etapa envolvida no processamento da nuvem de pontos é o ajustamento da mesma com os pontos de controle. Todo o processamento necessário para correção e ajuste da nuvem de pontos foi realizado no *software* RiPROCESS, sendo que todos os pontos gerados pelos diferentes retornos do mesmo pulso foram utilizados.

Após o processamento da trajetória e ajustamento da nuvem de pontos, é possível realizar a filtragem dos pontos, que tem como objetivo detectar pontos indesejáveis, ou seja, pontos não pertencentes à faixa de domínio da rodovia. Neste processo foi utilizado o *software* RiPROCESS, no qual são analisadas as distâncias dos pontos à uma superfície estimada. Com base nessas distâncias, os pontos são classificados como "terreno" ou "fora-do-terreno". O filtro não se destina a realizar uma filtragem de objetos de grandes dimensões (por exemplo, edifícios) por não existirem pontos abaixo deste tipo de superfície. A filtragem leva em consideração 5 parâmetros distintos para julgar se o ponto pertence ou não ao terreno. Os parâmetros descritos a seguir caracterizam a filtragem por Bloco Mínimo:

- a) Tamanho da grade base: corresponde ao tamanho da grade, no qual os pontos serão considerados para a filtragem. Por exemplo, uma grade de 1 m significa que a filtragem estará considerando todos os pontos presentes em 1 m<sup>2</sup>, tendo como referência um ponto central.
- b) Número de níveis: corresponde ao número de níveis utilizados na filtragem hierárquica. Por exemplo, a partir do "recorte" da nuvem de pontos com a grade base, tem-se um volume (célula) a ser filtrado. Definindo 6 níveis no filtro a possibilidade de um ponto ser filtrado por não estar no terreno é maior no nível 6 e menor no nível 1.
- c) Fator de tolerância: especifica o valor da faixa de tolerância acima do plano previsto para uma célula de um determinado nível. Todos os pontos fora do intervalo de tolerância do plano são marcados como pontos "fora-do-terreno" no nível atual. Por exemplo, dado um tamanho de base da grade de 0,5 m, 4 níveis, e um fator de tolerância de 1,2. Os valores de tolerância seriam: 4,8 m para o nível 4; 2,8 m para o nível 3; 1,2 m para o nível 2 e 0,6 m para o nível base 1. Se o fator de tolerância é demasiadamente elevado (conservador), os objetos fora do terreno podem não ser filtrados adequadamente. Se for muito baixo (agressivo), pontos do terreno podem ser classificados como "fora-do-terreno".
- d) Percentil: especifica a porcentagem de pontos que deverão estar acima do Ponto Representativo da Célula (PRC) que é o ponto de referência para definição dos níveis. Este parâmetro serve para evitar que pontos discrepantes negativos (ponto abaixo da conformação do terreno) sejam tomados como PRC. Por exemplo, no caso de um percentil de 1%, o PRC é selecionado de tal maneira que 99% dos outros pontos estejam acima dele e 1% abaixo. Em

caso de valor de 0%, o PRC simplesmente corresponde ao ponto com altura mínima dentro da célula. O valor de 0% deve ser evitado, uma vez que discrepantes negativos podem causar resultados errados de filtragem.

e) **Ângulo máximo de inclinação:** especifica a inclinação máxima possível para o plano estimado do terreno. Por exemplo, se este valor for de  $60^\circ$ , significa que o filtro só será aplicado onde o plano estimado for menor que  $60^\circ$  de inclinação. Um valor de  $90^\circ$  significa que o filtro é aplicado para qualquer plano estimado. Valores muito menores que  $90^\circ$  podem impedir que locais muito inclinados sejam filtrados.

Nesta pesquisa foram testadas três configurações diferentes para a filtragem da nuvem de pontos: **Filtragem 1:** Tamanho da grade base de 0,25 m, 8 níveis, Fator de tolerância de 0,7 m, Percentil de 1% e Ângulo máximo de inclinação de  $90^\circ$ . **Filtragem 2:** Tamanho da grade base de 0,5 m, 6 níveis, Fator de tolerância de 0,85 m, Percentil de 1% e Ângulo máximo de inclinação:  $90^\circ$ . **Filtragem 3:** Tamanho da grade base de 1,0 m, 4 níveis, Fator de tolerância de 1 m, Percentil de 1% e Ângulo máximo de inclinação:  $90^\circ$ .

Os parâmetros acima descritos foram escolhidos de forma que a célula mais grosseira, ou seja, a do maior nível e tolerância apresente tamanhos semelhantes. Assim, a filtragem inicia-se com uma amostra uniforme. Foram gerados MDT's com as nuvens de pontos obtidas por cada filtro e uma análise visual foi realizada visando detectar esses ruídos. Os MDT's foram analisados visualmente de acordo com a consistência dos mesmos com a realidade da superfície, visto que não há um levantamento topográfico anterior para a realização de análises qualitativas.

### 3. Resultados e Discussões

Na Figura 3 são apresentadas as variações dos ângulos do IMU ao longo da trajetória, que representam de certa forma, a conformação da rodovia. Variações muito grandes em *roll* indicam superelevações na pista, que juntamente com *yaw*, na maioria das vezes, são variações características de curvas. Variações em *pitch* indicam trechos de subida e descida ao longo da rodovia. Em trechos planos, essas variações tendem a permanecer constantes.

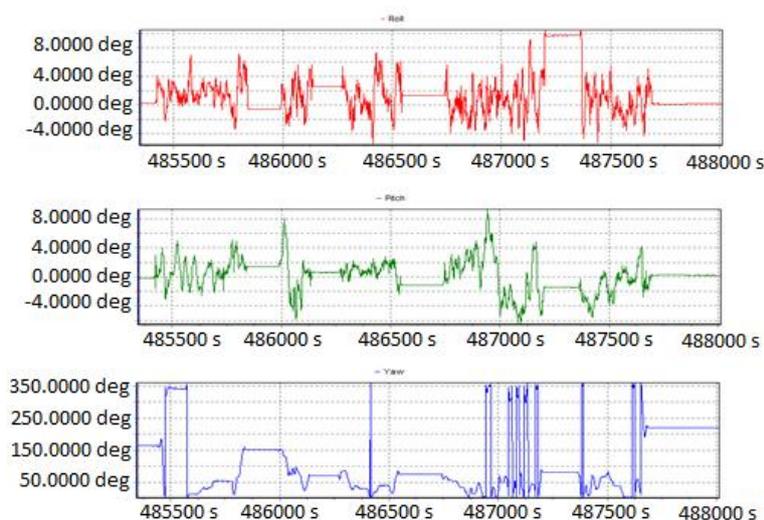


Figura 3: Variação de *roll*, *pitch* e *yaw* ao longo da trajetória.

Na Figura 4 (a), é apresentado um gráfico com as precisões dos ângulos do IMU, e na Figura 4 (b) a precisão do GNSS ao longo da trajetória. Verifica-se que as precisões obtidas pelo IMU foram superiores às aceitáveis, prescritas na seção anterior. Percebe-se ainda, que em alguns locais as precisões do GNSS foram inferiores, possivelmente pela presença de

vegetação densa nos respectivos trechos, obstruindo dessa forma o sinal GNSS em determinados instantes. Dessa forma, somente o sistema inercial permaneceu em funcionamento. O sistema inercial é bastante preciso por si, porém, as incertezas geradas pelo sensor são acumulativas por ser uma trajetória. Sendo assim, é extremamente necessária a presença do sinal GNSS para adquirir boas precisões na trajetória.

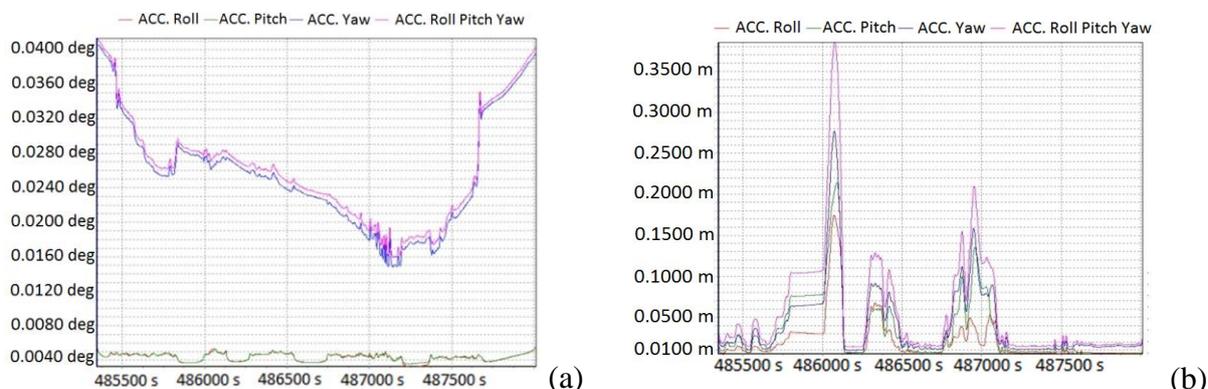


Figura 4: Precisões de *roll*, *pitch* e *yaw* e do GNSS ao longo da trajetória.

Na Tabela 1 são apresentadas as diferenças entre as coordenadas dos pontos de controle coletadas em campo e as obtidas na nuvem de pontos antes e após o ajustamento da nuvem. Verifica-se uma maior discrepância nas coordenadas altimétricas antes do ajustamento, o que pode ser explicado pela precisão do modelo geoidal aplicado na nuvem de pontos, uma vez que as altitudes obtidas pelo MLS são elipsoidais. Após o ajustamento da nuvem com os pontos de controle pode-se verificar a obtenção de resíduos baixos nos pontos de controle.

Tabela 1: Diferenças entre as coordenadas dos pontos de controle obtidas por levantamento e lidas na nuvem de pontos antes e após o ajustamento da nuvem

Ponto	Diferença dos Pontos de Controle antes do ajustamento			Diferença dos Pontos de Controle após o ajustamento		
	$\Delta E$ (m)	$\Delta N$ (m)	$\Delta H$ (m)	$\Delta E$ (m)	$\Delta N$ (m)	$\Delta H$ (m)
1	0,025	0,109	0,237	-0,001	-0,002	0,002
2	-0,031	0,032	0,212	0,002	-0,001	0,000
3	0,009	0,005	0,257	0,000	0,000	0,000
4	-0,017	0,036	0,212	0,000	0,000	0,002
5	0,007	0,043	0,209	0,000	0,002	-0,001
6	0,031	0,071	0,220	0,001	-0,001	0,002

Para a realização dos experimentos de filtragem desta pesquisa, foram selecionados três trechos da rodovia possuindo diferentes objetos e alturas de vegetação. No trecho 1, há a predominância de vegetação mediana a alta e linhas de transmissão de energia. No trecho 2, predomina vegetação mais densa e alta. Aparece também um veículo que transitava na rodovia e linhas de transmissão de energia elétrica. No trecho 3, predomina vegetação rasteira (Pastagem). Nas figuras 5, 6 e 7 são apresentadas a nuvem de pontos bruta nos trechos 1, 2 e 3, respectivamente, além da subtração de imagens entre os MDT's gerados pelas 3 nuvens de pontos filtradas.

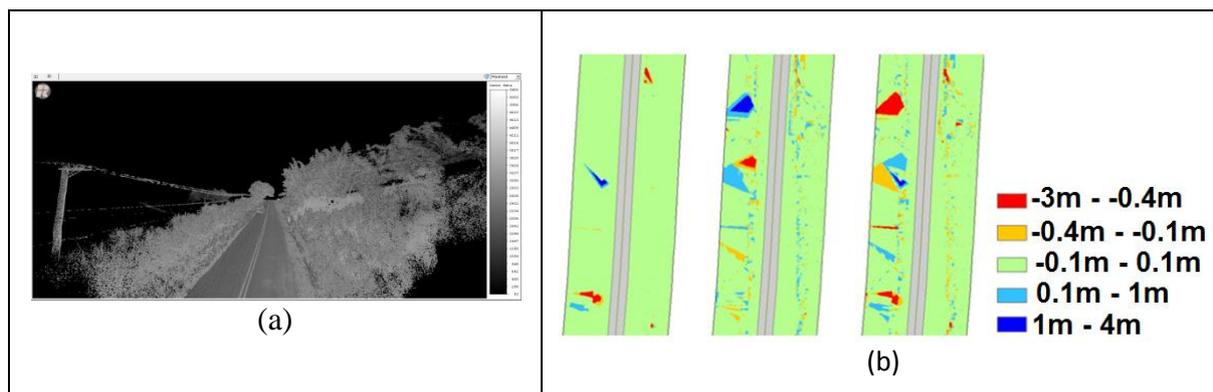


Figura 5: Trecho 1: a)Nuvem de pontos brutas. b) Subtração de Imagens do Trecho 1 (1-3; 1-2; 2-3)

No trecho 1, percebe-se uma pequena diferença entre a nuvem de pontos filtrada pelas configurações 1 e 3. Para trechos com vegetação mediana e alta pouco densa as configurações 1 e 3 apresentaram diferenças basicamente nas mesmas regiões quando comparadas com a configuração de filtro 2. A rede de alta tensão foi filtrada por completo em ambas as configurações de filtro testadas.

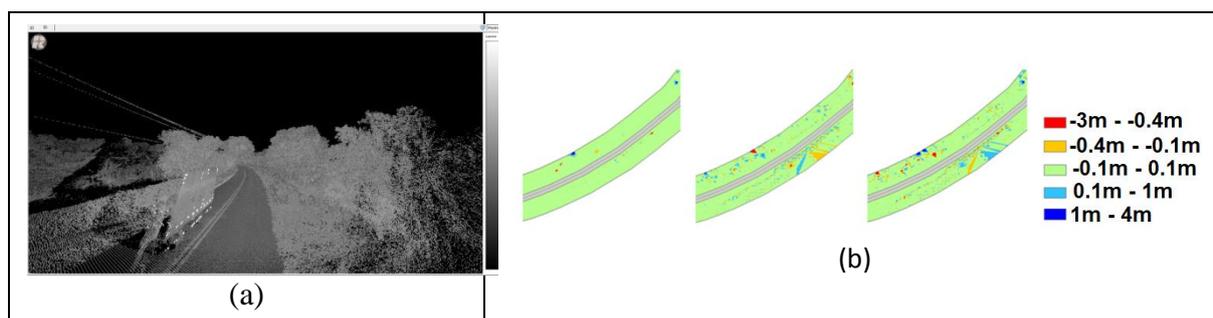


Figura 6: Trecho 2: a)Nuvem de pontos brutas. b) Subtração de Imagens do Trecho 1 (1-3; 1-2; 2-3)

No trecho 2, as diferenças permanecem pequenas entre as configurações de filtro 1 e 3. Permanecem também diferenças grandes nas mesmas regiões entre as filtragens 1 e 2. O mesmo ocorre quando comparadas as filtragens 2 e 3. O veículo foi filtrado por completo em ambas às configurações de filtro. A filtragem da rede de alta tensão também foi eficiente nos 3 filtros testados.

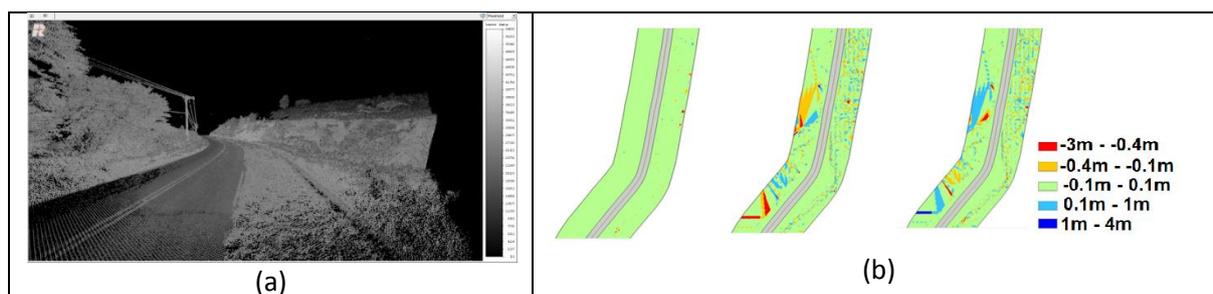


Figura 7: Trecho 3: a)Nuvem de pontos brutas. b) Subtração de Imagens do Trecho 1 (1-3; 1-2; 2-3)

No trecho 3, as diferenças entre as configurações 1 e 3 são quase imperceptíveis. Isso indica um mesmo comportamento dos MDT's gerados com as filtragens 1 e 3. Percebe-se diferenças nos mesmos trechos quando comparadas as configurações do filtro 2 com os filtros 1 e 3.

Em todo o trecho da rodovia avaliado, a diferença entre as 3 configurações de filtro foi menor que 10 centímetros. Alguns locais onde a penetração de pontos foi menor, as configurações de filtros tiveram comportamentos diferentes.

#### 4. Conclusões

O uso da tecnologia MLS para a coleta de dados topográficos para fins de mapeamento da rodovia SP-121 se mostrou eficiente em locais com pouca vegetação, uma vez que possibilita um detalhamento grande da superfície mapeada.

A utilização de todos os pontos gerados por diferentes retornos do mesmo pulso contribuiu fundamentalmente para a detecção de pontos que não pertencem ao terreno, uma vez que aumenta tanto o número de pontos no terreno como pontos fora do terreno.

O uso da filtragem por Bloco Mínimo presente no *software* RiPROCESS se mostrou eficiente para a eliminação da maioria dos pontos não pertencentes ao terreno, porém a minoria restante influenciou diretamente para a não fidelidade da representação do terreno pelo MDT.

A mudança dos parâmetros do filtro apresentou pequenas diferenças nos resultados da filtragem em função da densidade e altura da vegetação local. Após uma análise com subtração de matrizes (MDT's), pôde-se perceber regiões com discrepâncias de até 4 metros entre os MDT's gerados com as diferentes filtragens. Este fato pode ser justificado pela pouca penetração dos pontos no terreno, criando uma falsa superfície provável. Sendo assim, mesmo com configurações diferentes de filtragem, o método do bloco mínimo não é aplicável quando a penetração dos feixes até a superfície for baixa.

Para a fiel representação da superfície do terreno indica-se uma filtragem mais profunda e rigorosa dos objetos. Essa filtragem pode ser feita com a utilização de outros tipos de filtros além do bloco mínimo, pois cada tipo de feição a ser filtrada necessita de um tratamento diferente. Uma possibilidade seria utilizar filtros que integrem mais de uma metodologia, por exemplo, Bloco mínimo e superfície.

## 12. Referências Bibliográficas

DAL POZ, A. P. **Filtragem de dados de varredura a laser: Princípios e exemplos**. Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 13 a 18 de abril de 2013, INPE.

HABIB, A.F.; KERSTING, A.P.; RUIFANG, Z. **LiDAR Strip Adjustment using Conjugate Linear Features in Overlapping Strips**. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. 37. Parte B1. 2008.

MORO, R. C., CENTENO, J. A. S., Filtragem e classificação de nuvem de pontos para a geração de modelo digital de terreno. **III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação**. Recife, Pernambuco, 27-30 de Julho de 2010. p. 000-005.

RIEGER, P., STUDNICKA N., PFENNIGBAUER, M., ULLRICH, A. Advances in Mobile Laser Scanning Data Acquisition. Austria. Commission 5 "Positioning and Measurement", **Terrestrial and Airborne Laser Scanning – FIG Congress**. Sydney, Australia. 2010.

RIEGER, W., et al. Roads and buildings from LASER scanner data within a forest enterprise. **International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing**. 1999, Vol. 32 (Parte 3).

VOSSelman, G. Slope based filtering of laser altimetry data. **International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing**, Volume 33, Part B3, p. 935-942. Amsterdam, Netherlands. 2000.