

## PROPOSTA METODOLÓGICA PARA MODELAGEM DIGITAL DE ELEVAÇÃO POR MEIO DE *LASER SCANNING* TERRESTRE COM ÊNFASE EM PROJETOS GEOMÉTRICOS DE VIAS

*METHODOLOGICAL PROPOSAL FOR DIGITAL ELEVATION MODELING BY TERRESTRIAL LASER SCANNING WITH EMPHASIS ON ROUTE GEOMETRIC DESIGN*

**Emerson Cordeiro Lopes<sup>1</sup>, Taciano Oliveira da Silva<sup>2</sup>, Afonso de Paula dos Santos<sup>3</sup>, Antonio Santana Ferraz<sup>4</sup>, Carlos Alexandre Braz de Carvalho<sup>5</sup>, Heraldo Nunes Pintanga<sup>6</sup>**

Universidade Federal de Viçosa, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Departamento de Engenharia Civil, Viçosa, MG, Brasil.

<sup>1</sup>Mestre em Engenharia Civil, E-mail: emerson.ufv@gmail.com

<sup>2</sup>Doutor em Engenharia Civil, E-mail: taciano.silva@ufv.br

<sup>3</sup>Doutor em Engenharia, E-mail: afonso.santos@ufv.br

<sup>4</sup>Doutor em Ciências Florestais, E-mail: ferraz@ufv.br

<sup>5</sup>Doutor em Transportes, E-mail: cabrazcarvalho@gmail.com

<sup>6</sup>Doutor em Geotecnia, E-mail: heraldopitanga@yahoo.com.br

### RESUMO

Com vistas a propor e avaliar uma rotina de processamento de dados de Laser Scanning Terrestre (LST) para a geração de curvas de nível aplicadas ao projeto geométrico de estradas foi realizado um estudo de caso em uma via alternativa no câmpus da Universidade Federal de Viçosa. Os dados coletados foram processados no *software RiSCAN PRO* e no *ArcGIS*. Em ambos foram geradas curvas de nível, no entanto, no *ArcGIS* foram realizados testes de dois interpoladores distintos, sendo que para o melhor resultado, foi aplicado filtros estatísticos, utilizando os valores de células da vizinhança mais próxima, a média e o mínimo. O LST mostrou-se eficiente nos locais sem vegetação, gerando curvas de alta qualidade e precisão. No entanto, nos locais com vegetação, o processo de filtragem foi ineficiente, deixando pontos acima da cota do terreno e superestimando os volumes de movimentação de terra em projetos de terraplenagem. O filtro estatístico mais eficiente foi o que usou os valores médios, porque eliminou os ruídos nas curvas de nível e não distorceu o modelo produzido. Com isso, conclui-se que o LST pode ser utilizado em projetos geométricos de vias, desde que seja acompanhado da topografia convencional em áreas que apresentem cobertura vegetal densa.

**Palavras Chaves:** Curva de Nível, Vegetação, Movimentação de terra.

### ABSTRACT

In order to propose and evaluate a processing routine for data from the equipment Terrestrial Laser Scanning (LST) to produce contour curves to be used in road geometric design, this study case developed an alternative route in the campus of the Federal University of Viçosa. Data collected were processed in the software *RiSCAN PRO* and *ArcGIS*. Contour curves were generated in both softwares, but two different interpolators were tested in *ArcGIS*, and statistical filters were applied to the best result using values of the nearest neighbors, the mean and the minimum. LST equipment was efficient for unvegetated sites, generating contour curves of high quality and accuracy. However, in vegetated areas, the filtering process was inefficient, leaving points above the terrain quota and overestimating the volumes of land movement in earthwork projects. The most efficient statistical filter was the one using the mean values, because it eliminated the noise in contour curves and did not skew the model produced. In conclusion, the LST equipment can be used in road geometric design, provided that it is accompanied by conventional topography in densely vegetated areas.

**Keywords:** Contour Curves, Vegetation, Land movement.

### 1 – INTRODUÇÃO

A rápida geração de Modelos Digitais de Elevação (MDE) sobre a superfície de estudo desperta um interesse especial no meio rodoviário, principalmente em projetos geométricos de estradas, sendo precisamente a determinação da informação altimétrica a tarefa que requer a maior carga de trabalho na execução do mapeamento topográfico (WUTKE e CENTENO, 2007).

O MDE é uma representação matemática computacional da distribuição de um fenômeno espacial que ocorre dentro de uma região da superfície terrestre, definida sobre um plano cartográfico num conjunto de

coordenadas X, Y e Z. As coordenadas Z representam valores da altitude e profundidade em um modelo tridimensional que contenha o atributo elevação. Logo, torna-se base para qualquer tratamento automatizado de projetos geométricos de estradas. O projeto geométrico é caracterizado pelas coordenadas e altitude ou cota de seus pontos notáveis, necessários para definir os elementos geométricos. Neste tipo de projeto, além da visualização em um plano horizontal, requer-se, também, a identificação em um plano vertical. Muitas vezes, para a modelagem do terreno, é necessário obter valores de altitude ou cota que não foram amostrados na superfície de

estudo, sendo estes pontos necessários durante o processamento dos dados (BARBOSA *et al.*, 2008).

Reconstruir a informação altimétrica de uma determinada superfície, por metodologia diferente das tradicionais e empregando menor tempo de trabalho, pode ser o maior potencial de aplicação da tecnologia *Laser Scanning* para o mapeamento topográfico aplicado a projetos geométricos de estradas. Além de permitir o levantamento de grandes áreas em um menor tempo de trabalho (WUTKE e CENTENO, 2007) o *Laser Scanning* possibilita um mapeamento de alta acurácia posicional (HOHLE e HOHLE, 2009; CUARTERO *et al.*, 2010).

Considerando-se a dificuldade de se obter uma quantidade de dados representativos do terreno, os fabricantes dos sistemas de varredura a laser atribuem a maior vantagem oferecida por tais sistemas à possibilidade de dispor de uma massa considerável de dados altamente representativos da superfície de interesse, os quais podem ser processados para obter modelos digitais do terreno (PFEIFER e WINTERHALDER, 2004; LICHTI; PFEIFER; MAAS, 2008; MAAS *et al.*, 2008).

Devido à grande quantidade de informações geradas pela tecnologia de *Laser Scanning*, a fase de processamento requer ferramentas que apresentem capacidade de extrair e selecionar as informações necessárias ao projetista. O Sistema de Informações Geográficas (SIG) apresenta um poderoso conjunto de ferramentas capazes de coletar, armazenar, recuperar, transformar e visualizar dados espaciais, tornando-se um aliado ao processamento e tratamento dos dados produzidos pela referida tecnologia. (BURROUGH e MCDONNELL, 1998).

Neste contexto, esta pesquisa tem por objetivo propor e avaliar uma rotina de processamento de dados coletados pelo equipamento *Laser Scanning* Terrestre (LST) para a construção e elaboração de um MDE com posterior geração de curvas de nível, visando auxiliar o desenvolvimento de projetos geométricos de estradas.

## 2 – MATERIAIS E MÉTODOS

São apresentadas, na sequência, as características básicas relacionadas à área de estudo do presente trabalho e às metodologias empregadas para realização do mesmo.

### 2.1 Área de estudo

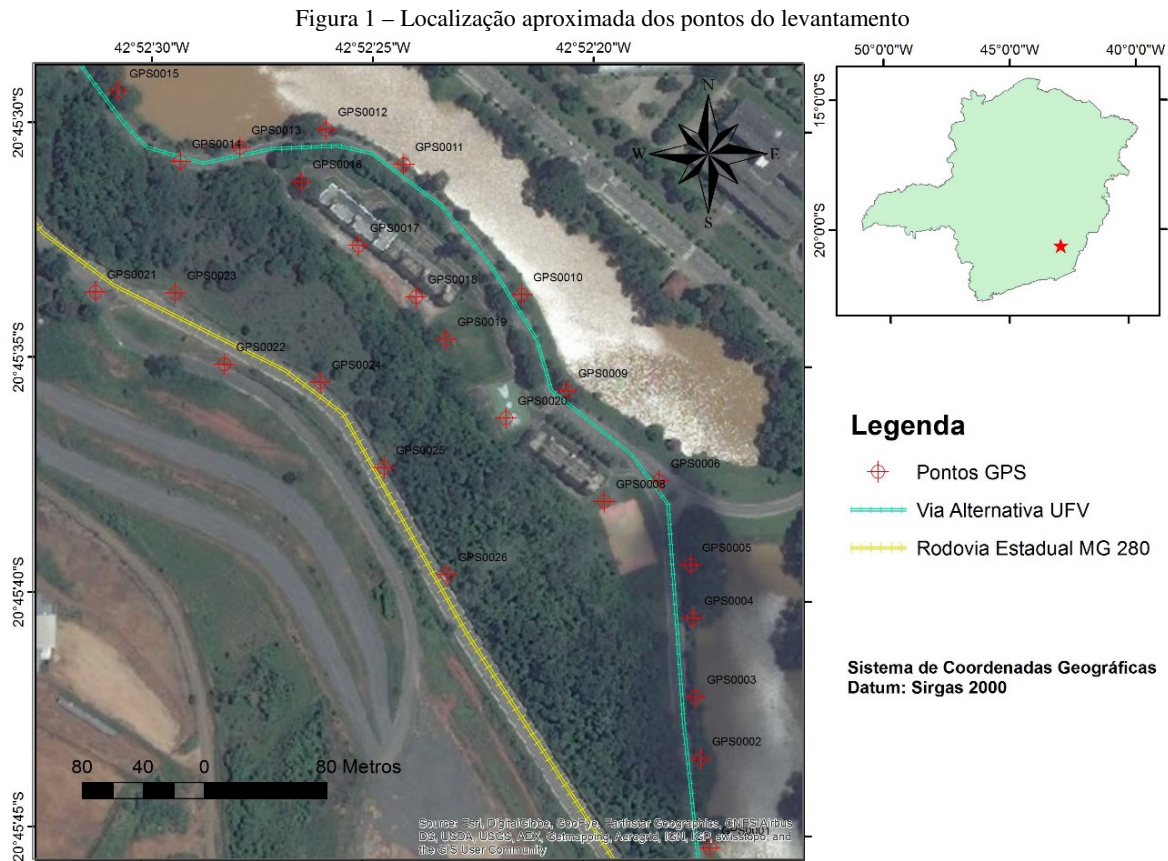
A área de estudo localiza-se no *campus* da Universidade Federal de Viçosa (UFV), as margens da rodovia MG-280. O local está situado entre a referida rodovia e uma via secundária pavimentada do campus universitário. O local apresenta interferência de edificações e áreas de lazer, além de vegetação heterogênea, de pequeno a grande porte, densa em alguns locais, dificultando o acesso e a realização de levantamento topográfico convencional.

### 2.2 Equipamentos utilizados

Para a coleta dos dados topográficos em campo, foi utilizado o equipamento LST (VZ 1000 da Rieghl, 1400m de alcance, acurácia de 8mm e precisão de 5 mm) e um receptor GNSS GS08 Plus de dupla frequência (L1/L2).

### 2.3 Levantamento de campo

Com o equipamento LST foram coletadas informações em 26 pontos de digitalização, nos quais o equipamento foi estacionado para realização da coleta. Esses pontos de digitalização foram distribuídos ao longo da via secundária da UFV e da MG-280 (Figura 1), disposto como uma poligonal do tipo 2, de acordo com a NBR-13133. Em cada ponto em que o equipamento LST foi estacionado, realizou-se o levantamento total da área do entorno (360° horizontal e 100° vertical), com aproximadamente 3 minutos de escaneamento e o registro das coordenadas com o GPS. Os locais de coleta foram distribuídos de forma a representar a área de exploração para definição do traçado e posterior implantação de uma via.



#### 2.4 Processamento

Foram utilizados os seguintes *softwares*: (i) Leica GeoOffice, para o processamento dos dados do receptor GNSS; (ii) RiSCAN PRO, para o processamento dos dados do equipamento LST; e (iii) ArcGIS, para filtragem, interpolação e geração dos MDEs e curvas de nível.

Para se determinar as coordenadas e altitudes das posições do equipamento LST, foi realizada uma coleta de dados GNSS, com o uso de pós-processamento diferencial dos dados (*rover*). A estação base utilizada foi a VICO integrada à RBMC (Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo), localizada a um raio de menos de 1km do local de estudo. Os dados foram convertidos para o formato RINEX (*Receiver Independent Exchange*), e pós-processados para a correção diferencial no *software* Leica GeoOffice.

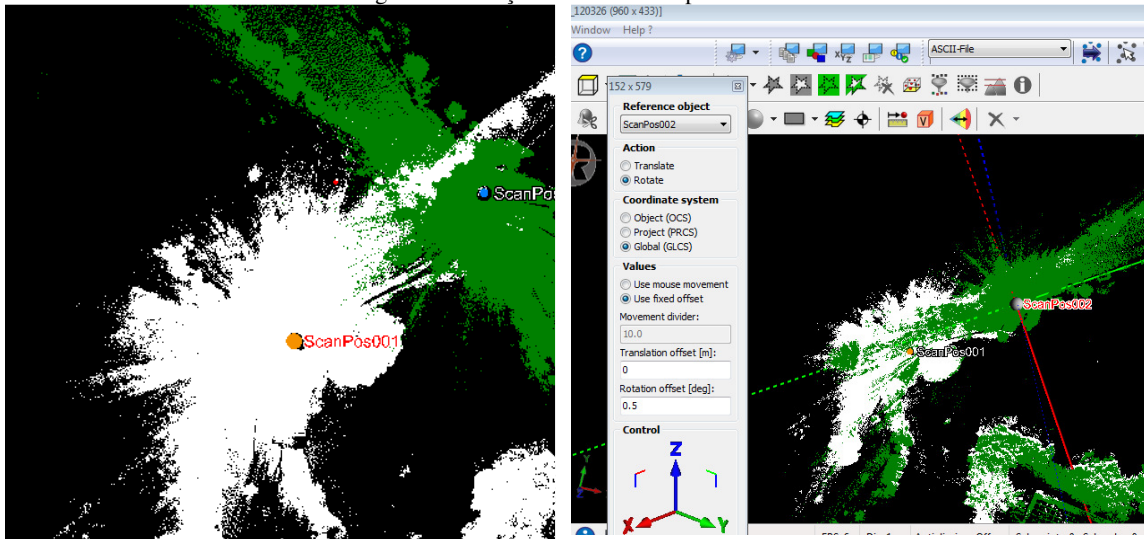
O processamento da nuvem de pontos gerada pela varredura do equipamento LST consistiu de quatro etapas:

- Registro e ajuste das posições digitalizadas;
- Filtragem com extração dos pontos representativos ao terreno;
- Desenvolvimento das curvas de nível no *software* RiSCAN PRO; e
- Tratamento dos dados e desenvolvimento das curvas de nível no *software* ArcGIS.

Para a etapa de registro e ajuste das posições digitalizadas, foi utilizado o *software* RiSCAN PRO, para o qual as coordenadas das posições obtidas com o receptor GNSS foram importadas e registradas nas 26 posições de

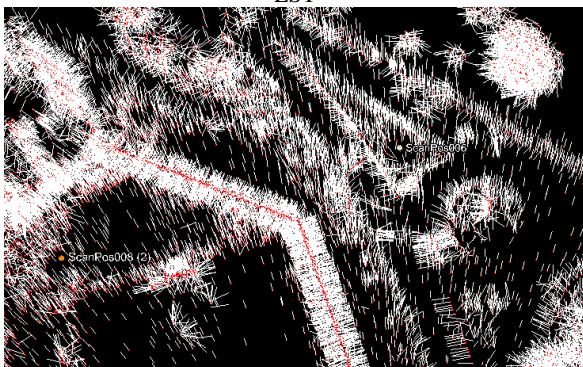
digitalização. Além disso, as coordenadas das posições foram reduzidas ao centro de fase do equipamento LST (origem das coordenadas tridimensionais). Em seguida, foi efetuada a rotação das posições digitalizadas, conforme a Figura 2.

Figura 2 – Rotação das nuvens de pontos 1 e 2



Apesar de todos os pontos digitalizados disporem das coordenadas obtidas do levantamento GNSS, as nuvens de pontos resultantes destas digitalizações necessitam de um referenciamento entre elas. Assim o usuário deve ajustar a direção (azimute) de cada nuvem, de forma a ter um mínimo de coincidência. Em seguida, o *software* RiSCAN PRO realiza um ajuste fino automático, de modo que todas as nuvens de pontos estejam orientadas entre si. Neste ajuste fino, o *software* gera diversos vetores de ligações entre as nuvens, que são armazenados em uma camada nomeada polidata (Figura 3). Assim, quanto maior a quantidade de vetores gerados, melhor o ajuste entre as nuvens, entretanto o esforço computacional também é maior (RIELG, 2013). Ao final, é gerada uma única nuvem de pontos planialtimétrico (X, Y e Z) resultante.

Figura 3 – Polidata contendo vetores gerados pelo equipamento LST

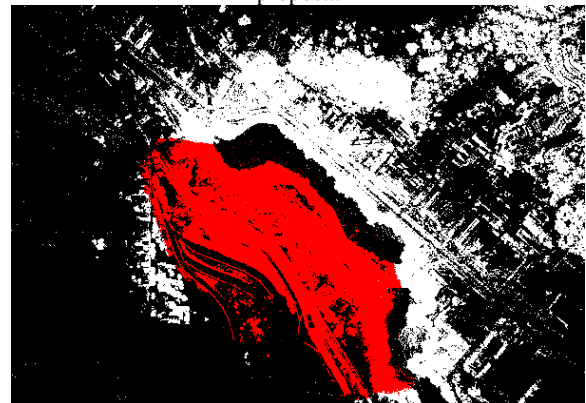


## 2.5 Filtragem com extração dos pontos representativos ao terreno

Nessa etapa do trabalho as 26 nuvens de pontos foram agrupadas no *software* RiSCAN PRO. Logo em seguida, essa nuvem densa de pontos foi reduzida de tamanho, com um espaçamento de 10 cm entre pontos, visando reduzir o esforço computacional. Vale lembrar que a necessidade do detalhamento depende de cada projeto em especial

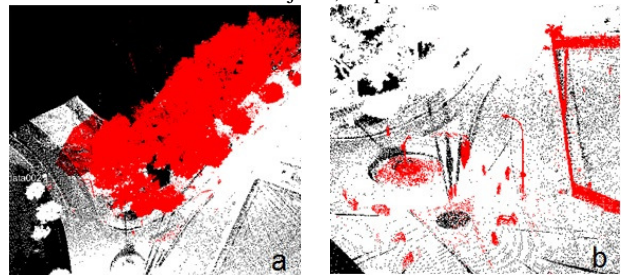
(RIEGL, 2013). Após a redução do arquivo foi realizada a seleção da área de interesse, conforme a Figura 4.

Figura 4 – Seleção da área de exploração para implantação da via proposta



Depois de realizada a seleção da área de exploração para implantação da via proposta, o próximo passo foi a eliminação da vegetação e dos objetos. Estes foram retirados de forma automática, usando-se filtros *vegetation* e *mining objects* encontrados no *software* RiSCAN PRO, conforme a Figura 5.

Figura 5 – (a) a aplicação do filtro de vegetação, (b) a execução do filtro de objetos, respectivamente

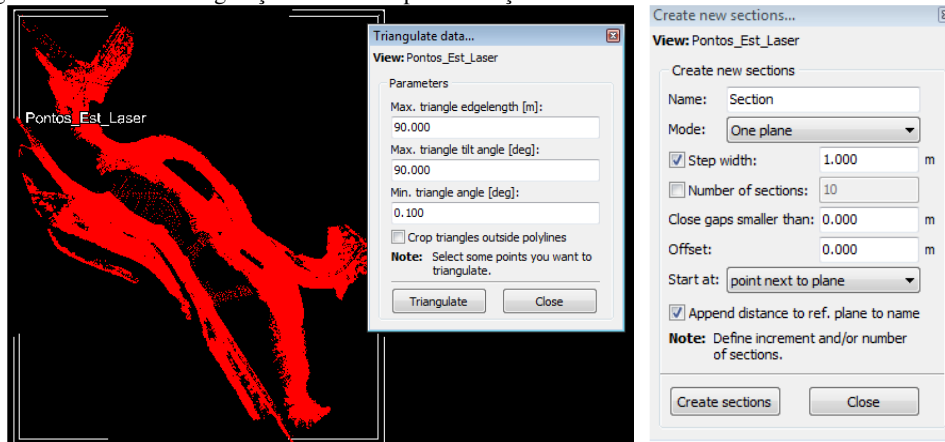


Com a realização da filtragem das nuvens, os pontos foram exportados no formato LAS (*Log ASCII Standard*). Esse formato facilita a troca, manipulação e análise de dados entre usuários da tecnologia *Laser Scanning*.

## 2.6 Desenvolvimento das curvas de nível no *software RiSCAN PRO*

Os procedimentos para a construção das curvas de nível englobaram a criação de um plano de referência (um polígono), que determinará a área na qual será realizada uma triangulação, para posterior geração das curvas de nível. Conforme a Figura 6, é apresentado a rotina e as configurações que foram utilizadas.

Figura 6 – Rotina e configurações utilizadas para a criação das curvas de nível no *software RiSCAN PRO*



Depois de gerar as curvas de nível com equidistância de 1,0 m foi realizada a exportação dos dados no formato DXF.

Devido às características típicas da área de estudo, com grande quantidade de vegetação de diferentes tamanhos e formatos, o processo de limpeza e filtragem dos pontos coletados pelo equipamento LST não se mostrou eficiente no *software RiSCAN PRO*. Assim, as curvas de nível resultantes não são fidedignas ao terreno, conforme apresenta a Figura 7. Para regiões iguais à estudada, pode-se ter os mesmos problemas de filtragem em outros *software* de processamento de LST. Assim, o próximo passo da metodologia proposta foi uma tentativa de melhorar a filtragem realizada no *RiSCAN PRO*, utilizando ferramentas de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) presentes no *software ArcGIS*.

## 2.7 – Tratamento dos dados e desenvolvimento das curvas de nível no *software ArcGIS*

Os pontos exportados no formato LAS por meio do *software RiSCAN PRO* foram carregados no *software ArcGIS* e, logo em seguida, o resultado foi transformado em um arquivo Raster de pixels de 0,5 m. Nessa passagem, foram testados dois interpoladores, *Linear* (que utiliza a triangulação) e *Natural Neighbor*, existentes na ferramenta de conversão do formato LAS para o formato Raster no *ArcGIS*.

O resultado que apresentou menor distorção das curvas de nível entre os dois interpoladores foi utilizado na etapa seguinte, na qual foram aplicados filtros estatísticos sobre os valores de células da vizinhança mais próxima, por meio da ferramenta *Zonal Statistic*, contida no programa *ArcGIS*. Nessa etapa, foram avaliados dois métodos estatísticos distintos, média e mínimo, ambos na

tentativa de reduzir as inconsistências provocadas pela vegetação. Assim, foi gerado dois MDEs resultantes das aplicações do tratamento estatístico da média e do mínimo.

Em seguida, foi realizada a comparação por meio de suas respectivas curvas de nível. Esta comparação foi dada em relação ao MDE filtrado que apresentar menor alteração em áreas sem vegetação e que eliminar com maior eficiência os defeitos advindos do processamento no *RiSCAN PRO* em áreas vegetadas. Conseqüente, as curvas de nível foram exportadas para o formato DWG, para ser utilizado em um posterior projeto geométrico, em ambiente CAD.

## 3 – RESULTADO E DISCUSSÃO

No ajustamento das nuvens de pontos do equipamento LST, foram obtidos desvios padrões menores que 3,0 cm. Para esse efeito, as orientações e posições são modificadas em várias interações, a fim de se calcular o melhor ajuste global. Infelizmente, os desenvolvedores do *software RiSCAN PRO* não disponibilizaram informações sobre os métodos e modelos matemáticos utilizados nesse ajuste. O *software 3DReshaper* utiliza apenas os pontos classificados como mais apropriados para a criação de uma malha. Estes pontos seriam selecionados por sua proximidade a uma superfície teórica calculada para representar a nuvem levantada. Para a seleção dos pontos, podem ser utilizados os métodos geométrico e/ou qualitativo (TECHNODIGT, 2015).

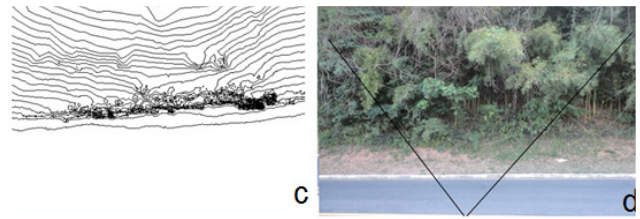
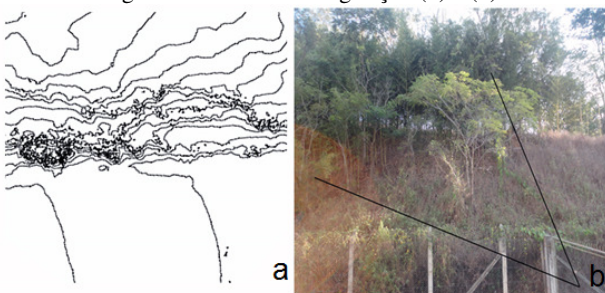
No método geométrico calculam-se planos triangulares na nuvem e, então, pontos que representarão a estrutura são criados na intersecção entre estes planos e a superfície teórica. Os pontos de intersecção são definidos utilizando-se um erro de desvio, que é a distância entre a superfície e os planos. Para o método quantitativo, o

software *3DReshaper* seleciona os pontos representativos da superfície teórica por meio da redução dos ruídos de medição, sendo os pontos escolhidos com base no critério de um valor de distância entre pontos e superfície, eliminando-se os pontos distantes e definindo-se os mais próximos como os vértices dos triângulos do novo modelo. Outro processo para ajustamento das nuvens utiliza como padrão o cálculo de distâncias entre pontos pelo algoritmo do vizinho mais próximo. Para cada ponto da nuvem a ser comparada, o software *3DReshaper* busca o ponto mais próximo na nuvem de referência e calcula a distância euclidiana entre eles (TECHNODIGT, 2015).

O processo de filtragem envolveu a eliminação dos objetos (edificações, postes, pessoas, carros, entre outros) e, principalmente, da vegetação. O algoritmo utilizado pelo software *RiSCAN PRO* não conseguiu distinguir, de forma adequada, os diferentes tipos de formação florestal da área de estudo, sendo obtido melhor resultado em locais com árvores espaçadas e troncos bem definidos. Um filtro para o isolamento de árvores em nuvem de pontos foi desenvolvido por Bienert; Maas; Scheller (2006). O método consiste em gerar um cilindro circular reto de altura e raio pré-definidos, a partir de um ponto na base da árvore. Um problema evidenciado para aplicação desse método é que nem toda vegetação apresenta formas geométricas definidas, o que dificulta a criação de algoritmos eficientes para eliminação ou separação da vegetação.

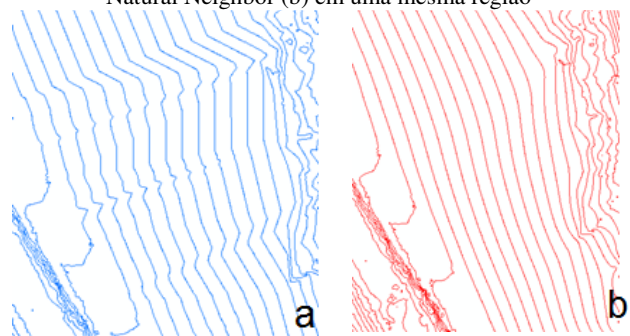
As curvas de nível geradas no software *RiSCAN PRO* apresentaram grande quantidade de ruídos e ondulações, principalmente nas áreas dominadas por vegetação densa e desuniforme. Essas alterações foram provocadas pela dificuldade de os pulsos laser do equipamento LST penetrarem em determinado tipo de vegetação, para detecção e registro da refletância do material de interesse que, para este estudo, foi o solo (GORDON, 2001; LICHTI; GORDON, 2004). Além disso, somado ao comprometimento da etapa de filtragem, os pontos não eliminados com cotas acima do terreno, causarão irregularidades, refletidas, posteriormente, no interpolador e consequentemente nas curvas de nível produzidas, gerando-se projetos geométricos de vias com alterações significativas de movimentação de terra, conforme a Figura 7.

Figura 7 – Ruídos nas curvas de nível (a) e (c) gerados no processamento do software *RiSCAN PRO* devido a falhas do algoritmo no filtro da vegetação (b) e (d)



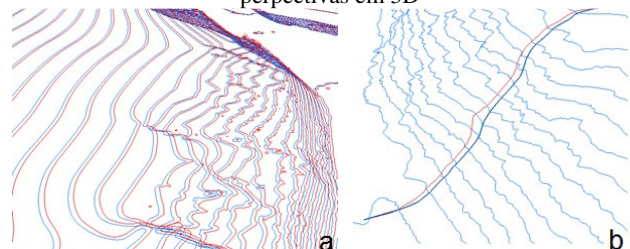
No software ArcGIS, os arquivos que foram processados usando os interpoladores *Linear* e *Natural Neighbor* apresentaram resultados com muita similaridade, pois ambos são associados ao modelo TIN (ESRI, 2013). Contudo, no modelo de triangulação com interpolação linear, as curvas de nível resultantes apresentaram inconsistências em relação ao terreno natural, com vários ângulos agudos, gerando um produto (MDE) desuniforme, tendo menor aproximação com a realidade. Em contrapartida, o interpolador *Natural Neighbor* produziu uma menor frequência de arestas, com linhas suaves, destacando-se melhor a continuidade da superfície na geração das curvas de nível, conforme a Figura 8.

Figura 8 – Diferenças entre os interpoladores *Linear* (a) e o *Natural Neighbor* (b) em uma mesma região



Em seguida, para a retirada dos ruídos das curvas de nível, o filtro estatístico que usou o valor mínimo da vizinhança gerou um MDE que, apesar de suavizar a superfície, apresentou um deslocamento inexistente do terreno, subestimando, assim, o modelo gerado, conforme a Figura 9. Essas modificações podem gerar erros em cálculos de movimentação de terra em determinados projetos de terraplenagem.

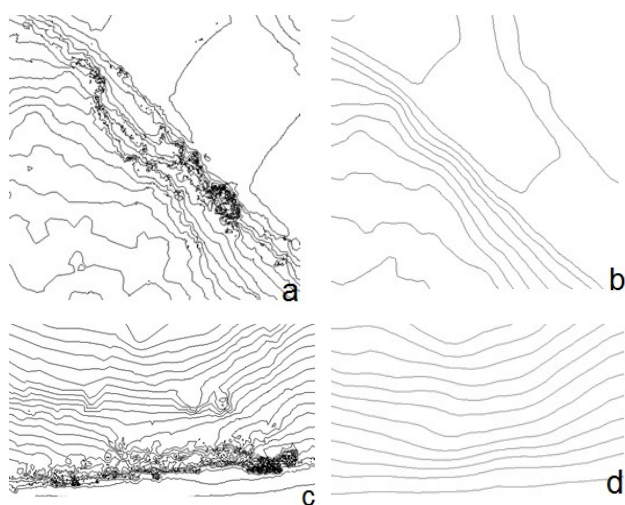
Figura 9 – Curvas de nível originais (vermelho) com deslocamento gerado pelo interpolador de mínimo (curvas de nível azul) figura (a), diferença entre o perfil original (vermelho) e o perfil gerados pelo interpolador de mínimo (azul) (b), com perspectivas em 3D



De acordo com os modelos digitais de elevação gerados pelos interpoladores utilizados, evidenciou-se que

o filtro estatístico da média foi o mais adequado à área em estudo, com um produto final mais ajustado e próximo da realidade quando comparado com os métodos utilizados neste trabalho. Conforme a Figura 10 é possível ver o resultado das curvas de nível produzidas inicialmente no *software RiSCAN PRO* (Figura 10 (a) e (c)) em comparação com as curvas de nível após o tratamento com o *software ArcGIS*, utilizando-se o interpolador *Natural Neighbor* e o filtro estatístico da média (Figura 10 (b) e (c)).

Figura 10 – Comparação entre as curvas de nível exportadas no *software RiSCAN PRO* (a) e (c) com as curvas produzidas após uso do interpolador de média no *software ArGis* (b) e (d)



## CONCLUSÃO

Considerando-se as particularidades do presente trabalho, é possível concluir que o LST pode ser aplicado a projetos geométricos de vias, contanto que, em determinadas áreas comprometidas com a presença de vegetação, esse sistema trabalhe consorciado com a topografia convencional.

Para a referida pesquisa, o SIG mostrou ser um importante aliado no processamento e melhoria de dados de LST, sendo as melhores respostas obtidas por meio do interpolador *Natural Neighbor* e do filtro que usou o método estatístico da média. Sugere-se para trabalhos futuros verificar a influência de outros interpoladores na metodologia proposta.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS

TÉCNICAS. **NBR 13133**: Execução de levantamento topográfico. Rio de Janeiro, 1994.

BARBOSA, R. L.; MENEGUETTE JÚNIOR, M.; SILVA, J. F. C.; GALLIS, R. B. A.; ITAME, O. Y. Análise Estatística da Qualidade de um Modelo digital do Terreno Gerado com *Thin Plate Spline*. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, v. 60, n 2, p. 127-132, 2008.

BIENERT, A.; MAAS, H. G.; SCHELLER, S. Analysis of the information content of terrestrial laser scanner point

clouds for the automatic determination of forest inventory parameters. *In: Workshop on 3D Remote Sensing in Forest*, Vienna, Austria, 2006.

BURROUGH, P. A.; MCDONNELL, R. A. **Principles of Geographical Information Systems**. 1 ed. New York: Oxford University Press, 1998.

CUARTERO, A.; ARMESTO, J.; RODRÍGUEZ, P. G.; ARIAS, P. Error Analysis of Terrestrial Laser Scanning Data by Means of Spherical Statistics and 3D Graphs. **Sensors**, n. 10, p. 10128-10145, Nov. 2010.

ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE – ESRI. **ArcGIS Professional GIS for the desktop**, version 10.2. Redlands, 2013.

GORDON, S.; LICHTI, D.; STEWART, M. Application of high-resolution, ground-based laser scanner for deformation measurements. *In: The 10<sup>th</sup> FIG International Symposium on Deformation Measurements*, Orange, California, 2001.

HÖHLE, J.; HÖHLE, M. Accuracy assessment of digital elevation models by means of robust statistical methods. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 64, n. 4, p. 398-406, Jul. 2009. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2009.02.003>.

LICHTI, D.; GORDON, S. Error Propagation in Directly Georeferenced Terrestrial Laser Scanner Point Clouds for Cultural Heritage Recording. *In: FIG Working Week*, Atenas, Greece, 2004.

LICHTI, D.; PFEIFER, N.; MAAS, H. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing theme issue “Terrestrial Laser Scanning”. **ISPRS Journal of Photogrammetry e Remote Sensing**, v. 63, p. 1-3, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2007.10.002>.

MAAS, H. G.; BIENERT, A.; SCHELLER, S.; KEANE, E. Automatic forest inventory parameter determination from terrestrial laser scanner data. **International journal of remote sensing**, v. 29, n. 5, p. 1579-1593, 2008. <https://doi.org/10.1080/01431160701736406>.

PFEIFER, N.; WINTERHALDER, D. Modelling of tree cross sections from terrestrial laser scanning data with free-form curves. **International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, v. 36, n. 8, 2004.

RIEGL, **Laser Measurement Systems. Operating and Processing Software**, RiSCAN PRO for RiEGL 3D Laser Scanners. Riegl LMS, 2013. RiSCAN PRO v. 2.0.

TECHNODIGT. 3DReshaper documentation. Disponível em: <<http://www.3dreshaper.com>>. Acesso em: 29 jul. 2015.

WUTKE, J. D.; CENTENO, J. A. S. Métodos Para Avaliação da Resolução de Sistemas de Varredura a Laser Terrestres. **Ciências Geodésicas**, Curitiba, v. 17, n. 1, p. 151-164, 2007.