

## **GERAÇÃO DE MODELO DIGITAL DO TERRENO A PARTIR DE IMAGENS OBTIDAS POR VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO**

*Generation of a Digital Terrain Model from Images Obtained by an Unmanned  
Aerial Vehicle*

**Diondetson Rocha de Oliveira<sup>1</sup>, Rejane Ennes Cicerelli<sup>1</sup>, Tati de Almeida<sup>1</sup>  
& Giuliano Sant'Anna Marotta<sup>1</sup>**

**<sup>1</sup>Universidade de Brasília – UnB**

**Instituto de Geociências – IG**

Campus Darcy Ribeiro - Brasília - DF. CEP: 70910-900, Brasil  
oliveira.rochad@gmail.com {rejaneig, tati\_almeida, marota}@unb.br

*Recebido em 1 de Maio, 2017/ Aceito em 14 de Julho, 2017*

*Received on May 1, 2017/ Accepted on July 14, 2017*

### **RESUMO**

O presente trabalho avaliou a aplicabilidade e as limitações de um Modelo Digital do Terreno (MDT) extraído por meio da filtragem de um Modelo Digital de Superfície (MDS) gerado a partir de imagens obtidas por câmara convencional a bordo de um VANT (Veículo Aéreo Não Tripulado). Foram utilizados vinte pontos de controle para ortorretificação das imagens e doze pontos para verificação dos resultados. Os resultados apontaram que a discrepância média nas coordenadas x, y e z dos pontos de verificação foi menor que 5,0 cm. O teste de tendência aplicado detectou tendência na componente y, permitindo sugerir presença de erro sistemático. O MDT gerado se mostrou dependente de pontos visíveis no terreno em locais com vegetação densa. Entretanto, de maneira geral foi possível gerar um MDT com qualidade A do PEC-PCD para aplicações em trabalhos com escala de até 1:1.000.

**Palavras-chave:** VANT, MDT, MDS.

### **ABSTRACT**

The present work evaluated the applicability and the limitations of a Digital Terrain Model (MDT) extracted by means of the filtering of a Digital Surface Model (MDS) generated from images obtained by conventional camera on a UAV (Unmanned Aerial Vehicle). Twenty control points were used for orthorectification of the images and twelve points for verification of the results. The results showed that the mean discrepancy in the three-dimensional coordinates of check-points was less than 5.0 cm. Student's t test was applied and revealed trend in a horizontal component (y), suggesting presence of systematic error. The DTM generated was shown to be dependent of visible points on the ground in dense vegetation sites. However, in general, it was possible to generate o MDT with A PEC-PCD quality for applications considering a scale of up to 1: 1,000.

**Keywords:** UAV, DTM, DSM.

## 1. INTRODUÇÃO

A demanda por Modelos Digitais de Terreno (MDT) com alta precisão está associada as mais diversas áreas de atuação, tais como: Cartografia, Hidrologia, Mineração, Topografia e Engenharias. A aplicação desse dado torna-se imprescindível no monitoramento de fenômenos naturais, nas construções de barragens, nos estudos de viabilidade técnica de novos empreendimentos, no planejamento urbano, entre outros (DÍAZ-VILARIÑO *et al.* 2016; NEUGIRG *et al.* 2016; MESSINGER & SILMAN 2016; COMBA *et al.* 2016; MARTIN *et al.* 2015; DUBBINI *et al.* 2016).

Atualmente, dados de elevação podem ser obtidos por levantamentos topográficos/geodésicos realizados em campo, por métodos fotogramétricos aplicados sobre imagens provenientes de sensores terrestres, aerotransportados ou orbitais óticos e por dados de radar e/ou LiDAR (Light Detection And Ranging). No entanto, essas fontes apresentam alto custo na aquisição e/ou análise, pois envolvem equipes altamente especializadas, softwares específicos e hardwares de alto desempenho. Os dados obtidos são dispostos na forma de MDS (Modelo Digital de Superfície) e de MDT.

Nos últimos anos, uma variedade MDS vem sendo distribuída gratuitamente pelos seus desenvolvedores, sendo os principais provenientes de dados de sensores orbitais e de radar, como o ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer), SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission) e ALOS (Advanced Land Observing Satellite) PALSAR (Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar).

Tratando-se da necessidade de alta precisão de dados de elevação para atender às demandas de projetos que necessitam de detalhamento, pode-se dizer que informações provenientes de sensores orbitais, aéreos e terrestres possuem considerável limitação, originadas principalmente da resolução espacial e temporal. Além disso, vários dos dados citados geram Modelos Digitais de Superfície (MDS) e não de terreno (MDT), pois consideram alvos que se localizam acima do terreno, tais como feições antrópicas (edificações, rodovias) e vegetação. Nesse sentido, Ouédraogo *et al.* (2014), Siebert & Teizer (2014), Marotta *et al.* (2015a),

Stöcker *et al.* (2015) e Neugirg *et al.* (2016) avaliaram positivamente a utilização de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) na obtenção de levantamentos planialtimétricos em áreas de difícil acesso ou até mesmo remotas. Marotta *et al.* (2015b) indicaram que o MDS derivado de imagens tomadas por câmara de pequeno formato a bordo de um VANT é compatível com dados de elevação gerados por LiDAR aerotransportado. Contudo, quando o assunto passa a ser a geração de MDT, o processo de geração não é trivial, pois envolve o conhecimento da região pelo intérprete e algoritmos de filtragem pré-estabelecidos, para extração manual, automática e/ou semiautomática dos alvos que se localizam acima do terreno.

Diante do exposto, esse trabalho objetiva a avaliação da aplicabilidade e das limitações do MDT, extraído por meio da filtragem do MDS em dados obtidos por VANT, em área composta por alvos naturais (vegetação arbustiva, arbórea e rasteira e solo exposto) e alvos antrópicos com edificações de padrões, alturas e composições distintos.

A área definida para a realização do trabalho (Figura 1) representa um canteiro de obras, hoje abandonado, do complexo do Veículo Leve sobre Trilhos (VLT), situada na zona urbana de Brasília-DF, próximo à estação de metrô Terminal Asa Sul. A área possui 25,86 ha, apresenta relevo suave a ondulado com variação de 40m de altitude.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização do trabalho, foram adquiridas imagens na área de estudo em 26 de julho de 2016, por meio do VANT eBee, desenvolvido e fabricado pela empresa suíça senseFly. O equipamento possui 0,96 m de envergadura e pesa 0,69 kg, quando pronto para decolagem (Figura 2). Sua autonomia é de 45 minutos de voo, a velocidade de cruzeiro varia entre 36 a 57 km/h e resiste a ventos de até 45 km/h. Além disso, o VANT utilizado possui embarcado sistema inercial, receptor GPS (Global Positioning System), piloto automático, sensor de altura e reverso no motor, permitindo pousos muito suaves, além de possibilitar pousos em linha reta ou em espiral, conforme senseFly (2016). Os dados do levantamento foram fornecidos pela empresa Santiago & Cintra.

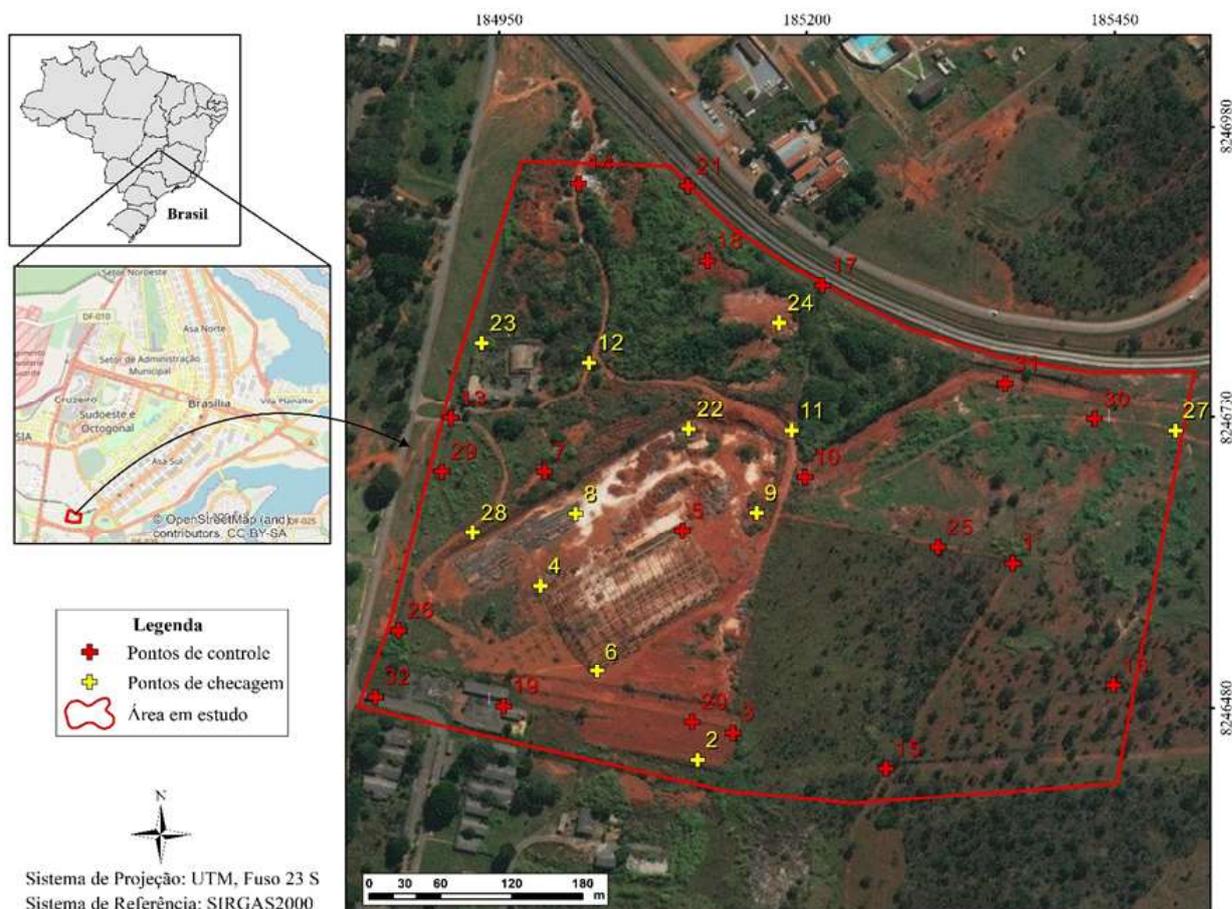


Fig. 1 - Mapa de localização da área de estudo e dos pontos de apoio no terreno.

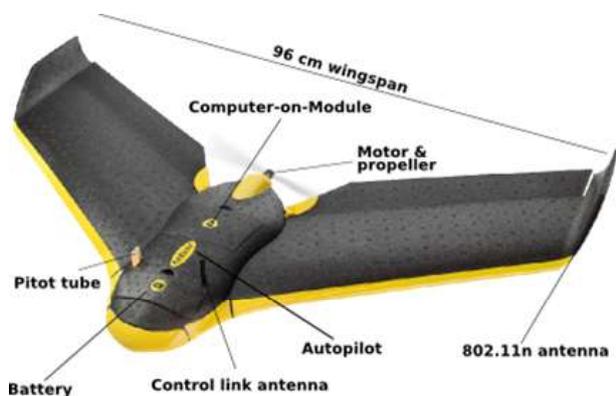


Fig. 2 - Principais componentes do VANT *eBee*.  
Fonte: <http://smavnet.epfl.ch/>

Na aquisição das imagens foi utilizada a câmara Sony, modelo DSC-WX220, equipada com sensor Exmor R CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) de 7,76 mm e resolução de 4896 x 3672 pixels. A câmara opera na região do visível (0,4 a 0,7  $\mu\text{m}$ ), o que implica na observação da superfície e não do terreno.

O software utilizado no planejamento do voo foi o eMotion 2. Nesse software configura-se todo o plano de voo, como a área a ser levantada,

as sobreposições lateral e longitudinal e o GSD (Ground Sample Distance) a ser alcançado. Ainda, permitiu a recepção, em tempo real, de informações referentes à altura e altitude do voo, velocidade do vento, carga da bateria, posicionamento da aeronave, velocidade de voo, dentre outras.

O processamento das imagens adquiridas se deu por meio do software Agisoft PhotoScan Professional, versão 1.2.6 build 2834 (64 bit). Ressalta-se que, devido a razões comerciais, existem pouquíssimas informações disponíveis sobre o funcionamento dos algoritmos de restituição fotogramétrica empregados pelo software. A falta de informação também foi observada por outros autores, como Remondino *et al.* (2014), Reshetyuk & Mårtensson (2016) e Santise *et al.* (2014). Ainda assim, segundo Santise *et al.* (2014), o PhotoScan emprega um algoritmo semelhante ao SIFT (Scale-invariant feature transform) para a correspondência de imagens e geração de pontos de amarração, e a orientação da imagem é realizada usando um algoritmo específico seguido por um refinamento

de ajuste de feixe mais tradicional.

Inicialmente, o programa PhotoScan realizou o alinhamento das imagens por meio da posição e orientação da câmera para cada imagem. Durante esse processo, foram estimados os parâmetros de orientação interior. O software utiliza como parâmetros de calibração os coeficientes, como descritos por Andrade (1998), de transformação de inclinação, de distorção radial e de distorção tangencial.

Tradicionalmente, de acordo com Reiss (2002), a orientação interior da câmara é obtida por uma sequência de procedimentos, que se inicia pela transformação das coordenadas do sistema de máquina para um sistema com origem no centro da imagem, no caso de câmeras digitais. Faz-se em seguida uma translação do ponto principal, e por fim, a correção dos erros sistemáticos.

A distorção radial é modelada por meio de um polinômio que é geralmente utilizado considerando os seus três primeiros termos, sendo as componentes, em  $x$  e  $y$ , respectivamente, conforme análise em Reiss (2002):

$$dx_r = (k_1r^2 + k_2r^4 + k_3r^6 + \dots)\Delta x \quad (1)$$

$$dy_r = (k_1r^2 + k_2r^4 + k_3r^6 + \dots)\Delta y \quad (2)$$

em que  $x$  e  $y$  são as coordenadas fotogramétricas,  $dx_r$  e  $dy_r$  são erros da distorção radial em  $x$  e  $y$ , respectivamente,  $r^2 = x^2 + y^2$  e  $k_1, k_2$  e  $k_3$  são os coeficientes de distorção radial da lente.

A distorção descentrada, que possui as componentes tangenciais e radiais assimétricas, segundo Espinhosa (2006), é provocada pela impossibilidade do fabricante em alinhar perfeitamente os eixos ópticos das lentes que compõem uma objetiva. O modelo matemático para sua correção é composto pelas expressões abaixo.

$$dx_d = P_1(r^2 + 2\Delta x^2) + 2P_2\Delta x\Delta y \quad (3)$$

$$dy_d = P_2(r^2 + 2\Delta y^2) + 2P_1\Delta x\Delta y \quad (4)$$

em que  $dx_d$  e  $dy_d$  são erros da distorção descentrada em  $x$  e  $y$ , respectivamente e  $P_1$  e  $P_2$  são os coeficientes da distorção descentrada.

Após a etapa de orientação interior, foi

iniciado o processamento para a orientação exterior que, nesse trabalho, utilizou além dos parâmetros internos da câmera, vinte pontos de controle adquiridos pelo método denominado, conforme MONICO (2008), de posicionamento RTK (Real Time Kinematic). Os pontos foram coletados utilizando dois receptores GNSS CHC X900. O levantamento em campo foi realizado três meses após o voo em 27 de outubro de 2016. Foram também coletados doze pontos de verificação objetivando a posterior avaliação da qualidade posicional do MDS.

Para o processamento da estação de referência (base), utilizou-se o serviço on-line para o pós-processamento de dados GPS – Posicionamento por Ponto Preciso (PPP), disponibilizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). A precisão estimada após o pós-processamento citado foi de 1, 2 e 6 mm para as coordenadas X, Y e Z, respectivamente, para o ponto base.

Após essa etapa, o modelo digital de superfície foi criado a partir das coordenadas da nuvem densa de pontos, gerada no processamento fotogramétrico. Por se tratar de um MDS, isto é, modelo que considera alvos que se localizam acima do terreno, tais como feições antrópicas (edificações, rodovias) e vegetação, a obtenção do MDT foi feita a partir de duas fases de filtragem, por meio do software Agisoft PhotoScan. Para isso, inicialmente foi realizada uma classificação automática da superfície topográfica (classe solo) e dos pontos acima dela (classe não-solo).

Concluída essa etapa, promoveu-se um refinamento da filtragem inicial, por meio de classificação manual da nuvem densa de pontos. O refinamento da filtragem inicial se fez necessário em virtude de várias incongruências terem sido identificadas na classificação automática, ainda que variáveis como tamanho da célula, distância máxima e ângulo máximo tenham sido ajustadas de forma empírica.

Na classificação manual foi efetuada uma análise detalhada da primeira fase de filtragem, logo após associou-se os pontos classificados erroneamente como solo em classes como residência, construção e vegetação. As maiores imprecisões na classificação automática ocorreram em áreas marginais aos locais classificados como não-solo. O MDT foi obtido

após a interpolação dos pontos adjacentes aos vazios criados.

A avaliação de tendência foi determinada através do teste estatístico *t* de Student, cujo cálculo é feito por meio da equação (5). Para esse teste foi considerado um nível de confiança de 90%.

$$t_{d_{x,yz}} = \frac{\overline{d_{x,y,x}} * \sqrt{n}}{S_{d_{x,yz}}} \quad (5)$$

Em que são os valores de *t* calculados para as discrepâncias nas coordenadas X, Y e Z; são as discrepâncias nas coordenadas X, Y e Z; são os desvios-padrão das discrepâncias para as coordenadas X, Y e Z; é o número de amostras.

A avaliação da qualidade dos dados gerados baseou-se no Padrão de Exatidão Cartográfica dos Produtos Cartográficos Digitais – PEC-PCD, criado pela Norma ET-ADGV (Especificações Técnicas para Estruturação de Dados Geoespaciais Vetoriais). Esse indicador, assim como o Padrão de Exatidão Cartográfico – PEC planimétrico, é calculado pelo produto do desvio padrão das discrepâncias nas coordenadas X, Y e Z ( $\sigma_{d_{x,y,x}}^2$ ) por 1,6449 (CONCAR & EB, 2011).

$$PEC-PCD = \sigma_{d_{x,y,x}}^2 * 1,6449 \quad (6)$$

Já para validar o MDT gerado, realizou-se o levantamento de dois perfis topográficos utilizando o método de posicionamento RTK, rastreando as coordenadas a cada dez metros ao longo dos perfis diretamente no solo, com o intuito de obter as medidas reais do MDT. A escolha dos perfis se deu em função da presença das feições, sendo que esses foram escolhidos em razão da representação de alvos distintos, tais como, solo exposto, vegetação rasteira, arbustiva e arbórea, com diferentes densidades de ocupação. No perfil I foram representadas feições de vegetação de diferentes tamanhos com espaçamento irregular e de baixa declividade e no perfil II observa-se maior densidade vegetal e variação mais expressiva da declividade. A localização dos perfis topográficos está representada na Figura 3.

### 3.RESULTADOS E DISCUSSÕES

O voo foi realizado a 218 m de altura acima do solo e possibilitou a geração de um

ortomosaico com 6 cm/pixel de resolução. Durante o voo foram obtidas 68 fotos, totalizando área de 0,54 km<sup>2</sup>.

Na tabela 1 é possível observar que a diferença entre os valores de coordenadas dos pontos de verificação e dos pontos homólogos extraídos do MDT foi menor que 1,0 cm. Já a diferença máxima verificada foi de 17,0 cm na coordenada z. A média das diferenças entre as coordenadas tridimensionais citadas foi menor que 5,0 cm e o desvio padrão ficou abaixo de 9,0 cm. Os resultados contidos na tabela 2 revelam que os produtos do levantamento podem ser enquadrados no PEC-PCD A 1:1.000, tanto na planimetria quanto para altimetria. Nesta categoria é aceitável um PEC de 28 cm para planimetria com Erro Padrão (EP) de 17 cm. Enquanto que para altimetria, considera-se aceitável o produto da equidistância do produto cartográfico pela constante 0,27 e um EP que corresponde a 1/6 da equidistância do produto cartográfico, conforme CONCAR & EB (2011).

Tabela 1: Discrepâncias dos pontos de checagem

	$\Delta X$ (cm)	$\Delta Y$ (cm)	$\Delta Z$ (cm)
Mínimo	0,31	0,64	0,69
Máximo	11,21	17,02	17,09
Média	1,51	4,11	3,01
Desvio padrão	5,74	5,89	8,52

A Tabela 2 apresenta os resultados obtidos no teste *t* de Student, a um nível de confiança de 90% e onze graus de liberdade, cujo valor de referência (tabelado) é 1,796. Nota-se que os valores de x e z estão dentro na região de aceitação do teste, ou seja, estão livres de tendência. Todavia, nota-se que a discrepância calculada na componente Y encontra-se fora da região de aceitação do teste, indicando presença de erro sistemático. Conforme sugerido por Marotta *et al.* (2015a), a falta de calibração dos parâmetros de orientação interior na mesma área do aerolevanteamento, com mesmas condições técnicas e ambientais, pode explicar a presença do erro sistemático apresentado.

Tabela 2: Análise de tendência pela distribuição t de student

Valor calculado			
X	Y	Z	Valor tabelado
0,9102	2,4131	-1,2224	1,796

Na Figura 3 tem-se a ilustração do MDS original (a) e após o processo de filtragem (b). O MDS é resultante do processamento fotogramétrico e possui resolução espacial de

11,0 cm/pixel e foi construído a partir de uma nuvem com densidade de 80,10 pontos/m<sup>2</sup>.

Após a filtragem (Figura 3-b) é observado um aspecto mais suave e homogêneo, indicando a remoção de feições presentes na cena, como edificações, restos de construção e vegetação. Também é possível notar na porção sudeste da Figura 3 (b) duas linhas de terraceamento, indicadas por setas, verificadas em campo, antes não visualizadas no MDS da Figura 3-a.

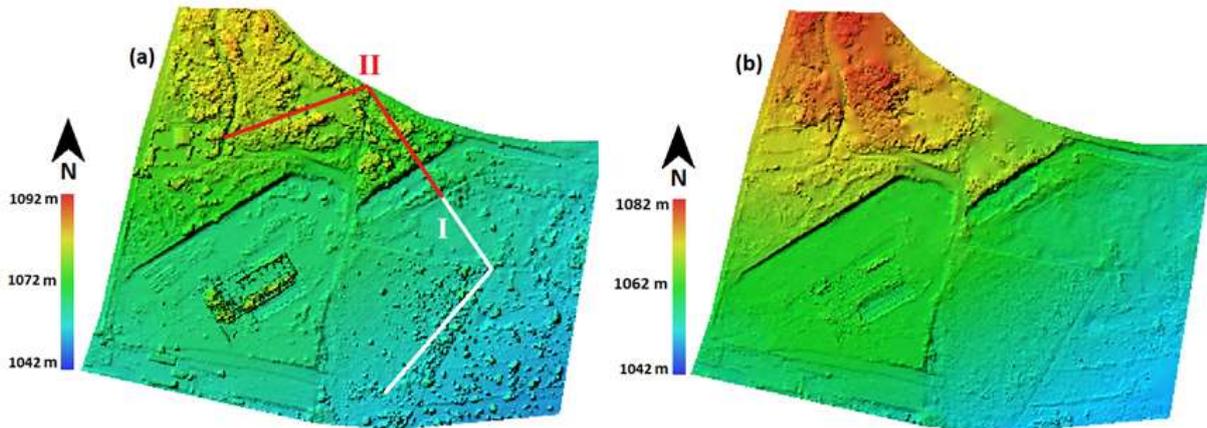


Fig. 3 – Modelo Digital de Superfície antes (a) e após (b) a filtragem, e perfis topográficos (I – em branco e II em vermelho).

Com intuito de realizar uma análise detalhada da filtragem exibida na Figura 3, selecionou-se uma área com representatividade das feições presentes na cena: vegetação densa e esparsa, solo exposto e mudança brusca no relevo. A partir das quais, foram traçados dois perfis topográficos (I e II representados na Figura 3-a) sequenciais construídos ao longo de 740 m

(Figura 4).

O perfil topográfico I foi traçado ao longo de mais de 300 m em área com presença de vegetação com tamanhos e espaçamentos irregulares, onde há outras feições naturais e variação suave no relevo, que podem ser observadas na Figura 4.

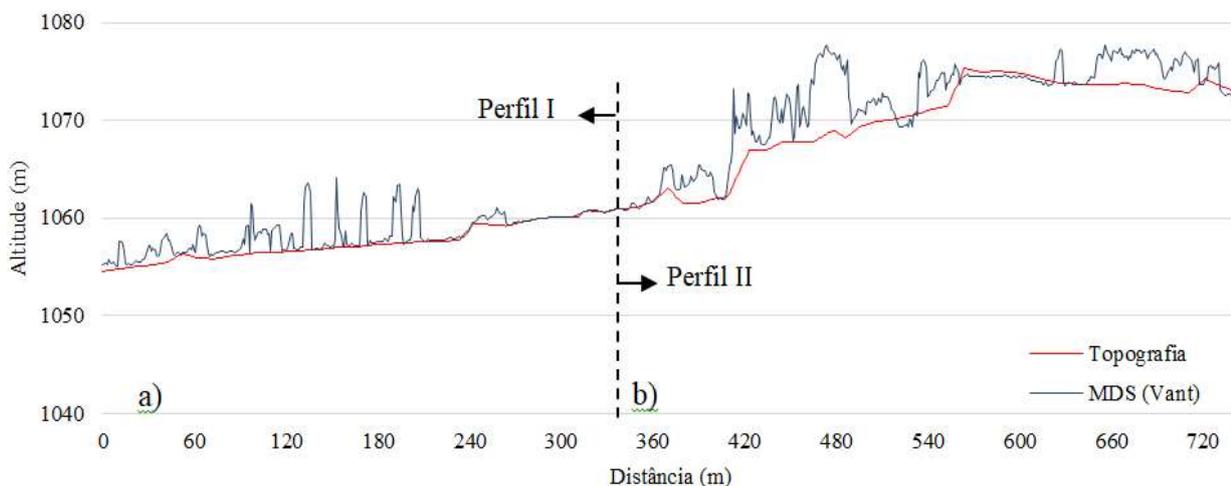


Fig. 4 – Perfis de elevação: (em vermelho) perfil topográfico construído a partir de levantamento topográfico utilizando o método de posicionamento RTK; (em azul) perfil topográfico gerado a partir do Modelo Digital de Superfície construído por meio do uso de imagens obtidas por câmara convencional de pequeno formato a bordo de um VANT.

Após as duas fases de filtragem, nota-se que, no Perfil I, diversas feições presentes na cena, como a vegetação esparsa, foram removidas. Na Figura 5 tem-se o comparativo do perfil topográfico extraído por meio da filtragem do MDS com o perfil obtido por meio do levantamento topográfico.

Observa-se que o perfil topográfico gerado a partir dos dados obtidos com VANT aproxima-se do perfil obtido em campo, sendo suas linhas pouco destoantes ao longo de todo gráfico.

O gráfico contendo os resíduos verificados entre o levantamento topográfico e o MDT é ilustrado na Figura 6. Os resíduos identificados corroboram a afirmação do parágrafo anterior, tendo em vista que a maior diferença verificada foi de 0,75 m e a diferença média ao longo de todo Perfil I foi 0,04 m.

O perfil topográfico II foi alocado em área com vegetação (árvores, arbustos e vegetação rasteira) e terreno com variação significativa de relevo. Ao analisar os gráficos contidos nas figuras 4-b e 7, observa-se que, após as duas etapas de filtragem, os picos do gráfico, que representam a vegetação, foram removidos e

o gráfico da Figura 7, o que indica que o perfil topográfico obtido pela filtragem do MDS tem comportamento semelhante ao perfil construído a partir da topografia convencional.

Para o caso o perfil topográfico II, por se tratar de uma área com vegetação densa e variação significativa no relevo, o processo de filtragem envolveu a remoção de toda a vegetação. Nesta situação tem-se apenas informações reais do relevo em áreas de bordas dos fragmentos vegetais, não permitindo levar em consideração variações intermediárias da área. Outro problema detectado foi a presença de vegetação arbórea juntamente com arbustiva, o que ocasionou perda importante de informação da superfície topográfica, impossibilitando a obtenção de informações sobre o terreno.

Dessa maneira, as diferenças dos perfis de elevação contidos no gráfico da Figura 7 não são desprezíveis, conforme o gráfico da Figura 8. Esta figura revela que, entre o perfil topográfico gerado a partir dos dados obtidos com VANT e o perfil topográfico obtido em campo, a média das diferenças foi de 0,19 m, com diferenças máximas de até 3,22 m

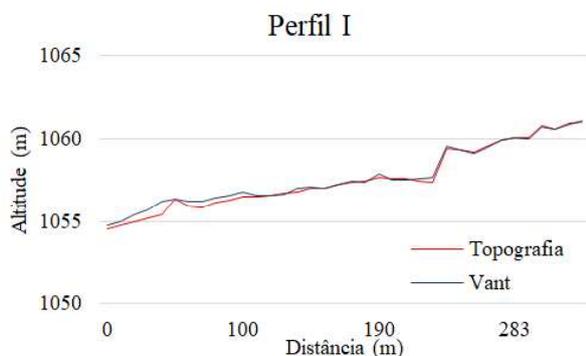


Fig. 5 – Perfis de elevação traçados ao longo do Perfil I.

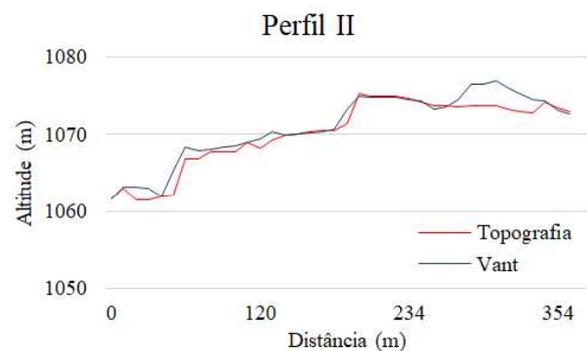


Fig. 6 – Resíduos verificados ao longo do Perfil I.

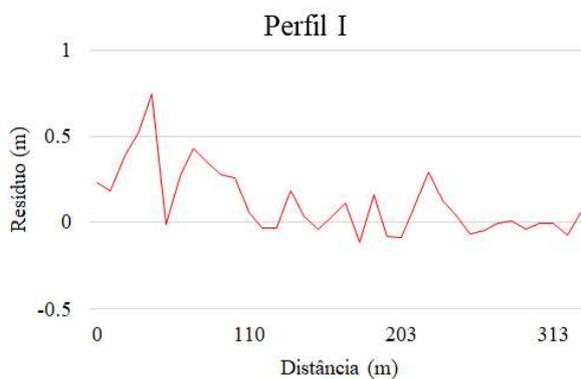


Fig. 7 – Perfis de elevação traçados ao longo do Perfil II.

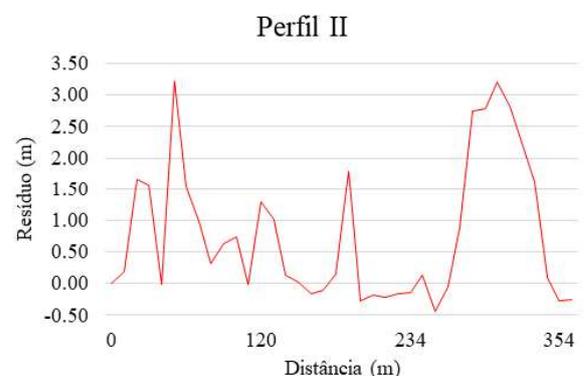


Fig. 8 – Resíduos verificados ao longo do Perfil II.

Apesar das inconsistências apresentadas no perfil II, é importante mencionar que, de acordo com Silva *et al.* (2016), quando comparamos os produtos gerados com VANT com outras técnicas, tais como varredura LiDAR ou GNSS, o VANT se destaca em se tratando de tempo de levantamento, horas de pós-processamento, equipe envolvida, custo do equipamento, segurança e precisão. Os autores supracitados apresentam formas de mensurar as diferenças entre as técnicas.

#### 4. CONCLUSÕES

Conforme os resultados obtidos, foi possível gerar um modelo digital do terreno, qualidade A PEC-PCD em escala 1:1.000, a partir da filtragem de um modelo digital de superfície criado por imagens obtidas por meio de um veículo aéreo não tripulado utilizando a metodologia proposta no trabalho na área de estudo.

No entanto, os resultados indicaram que nos locais com variações significativas de declividade e densa cobertura vegetal, erros maiores ocorrem, havendo a necessidade de aprimoramento no processo de filtragem do software Agisoft PhotoScan Professional. As variações de relevo da borda para o centro dentro de uma classe de alvo (p.ex. vegetação) também foi responsável por erros, já que os algoritmos utilizados trabalham com a remoção das variações que ocorrem na borda do alvo. Assim, tem-se que a geração de MDT, utilizando os dados e as metodologias propostas nesse trabalho, se mostra dependente de pontos visíveis no terreno.

O método de levantamento se destaca por envolver um sensor não métrico e de baixo custo de aquisição. Além disso, todo o processo de laboratório e campo para aquisição de dados e processamento é rápido e simples. Nota-se que a geração de MDT a partir de um MDS, frente ao levantamento topográfico convencional ou por perfilamento a laser, pode ter custo de levantamento reduzido, mantendo a qualidade final análoga, como pode ser observado em Marotta *et al.* (2015b) e Silva *et al.* (2016).

Para trabalhos futuros sugere-se adicionar novos parâmetros na filtragem automática do MDS para a geração do MDT e realizar análise dos produtos gerados a partir de voo com VANTs

com tecnologia RTK embarcada.

#### AGRADECIMENTOS

Agradecimento à empresa Agisoft LLC, pelo fornecimento do software Agisoft PhotoScan Professional. À empresa Santiago & Cintra, pelo fornecimento dos dados do VANT e da câmara. À empresa Agriambiental Engenharia, pelo fornecimento do Receptor GNSS. Ao IBGE pelo processamento dos dados da base.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGISOFT. **Agisoft PhotoScan User Manual: Professional Edition, Version 1.2.** Disponível em: <[www.agisoft.com/downloads/user-manuals/](http://www.agisoft.com/downloads/user-manuals/)>. Acesso: 23 de outubro de 2016.

ANDRADE, J. B.; **Fotogrametria**, Curitiba: SBEE, 1998, 258p.

COMBA, L.; GAY, P.; PRIMICERIO, J.; AIMONINO, D. R. Vineyard detection from unmanned aerial systems images. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 114, p. 78-87, 2015.

CONCAR – Comissão Nacional de Cartografia; EB - Exército Brasileiro. **Especificação técnica para a aquisição de dados geoespaciais vetoriais.** Diretoria de Serviço Geográfico do Exército Brasileiro, 2 ed., 2011, 253p.

DÍAZ-VILARIÑO, L.; GONZÁLEZ-JORGE, H.; MARTÍNEZ-SÁNCHEZ, J.; BUENO, M.; ARIAS, P. Determining the limits of unmanned aerial photogrammetry for the evaluation of road runoff. **Measurement**, v. 85, p. 132-141, 2016.

DUBBINI, M.; CURZIO, L. I.; CAMPEDELLI, A. Digital elevation models from unmanned aerial vehicle surveys for archaeological interpretation of terrain anomalies: case study of the Roman castrum of Burnum (Croatia). **Journal of Archaeological Science: Reports**, v. 8, p. 121-134, 2016.

ESPINHOSA, D. R. S. **Influência da injeção da base na fototriangulação de imagens obtidas com uma unidade de mapeamento móvel.** Dissertação (mestrado). Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente, 2006. 111p.

MAROTTA, G. S.; FERREIRA, A. M. R.; ROIG, H. L.; ALMEIDA, T. Avaliação geométrica

- de câmara de pequeno formato transportada por veículo aéreo não tripulado para uso em aerolevantamentos. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 67, n. 3, p. 591-601, 2015a.
- MAROTTA, G. S.; CICERELLI, R. E.; FERREIRA, A. M. R.; ROIG, H. L.; ABREU, M. A. Avaliação posicional de modelo digital de superfície derivado de câmara de pequeno formato. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 67, n. 7, p. 1467-1477, 2015b.
- MARTIN, P. G.; PAYTON, O. D.; FARDOULIS, J. S.; RICHARDS, D. A.; SCOTT, T. B. The use of unmanned aerial systems for the mapping of legacy uranium mines. **Journal of Environmental Radioactivity**, v. 143, p. 135-140, 2015.
- MESSINGER, M.; SILMAN, M. Unmanned aerial vehicles for the assessment and monitoring of environmental contamination: An example from coal ash spills. **Environmental Pollution**, v. 218, p. 889-894, 2016.
- MONICO, J. F. G. **Posicionamento pelo GNSS: Descrição, fundamentos e aplicações**, UNESP, 2008, 476p.
- NEUGIRG, F.; STARK, M.; KAISER, A.; VLACILOVA, M.; SETA, M. D.; VERGARI, F.; SCHMIDT, J.; BECHT, M.; HAAS, F. Erosion processes in calanchi in the Upper Orcia Valley, Southern Tuscany, Italy based on multitemporal high-resolution terrestrial LiDAR and UAV surveys. **Geomorphology**, v. 269, p. 8-22, 2016.
- OUÉDRAOGO, M. M.; DEGRÉ, A.; DEBOUCHE, C.; LISEIN, J. The evaluation of unmanned aerial system-based photogrammetry and terrestrial laser scanning to generate DEMs of agricultural watersheds. **Geomorphology**, v. 214, p. 339-355, 2014.
- REISS, M. L. L. **Restituição fotogramétrica flexível de imagens à curta distância: estudo de método e desenvolvimento de protótipo**. Dissertação (mestrado). Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente, 2002.
- REMONDINO, F.; SPERA, M. G.; NOCERINO, E.; MENNA, F.; NEX, F. State of the art in high density image matching. **The Photogrammetric Record**, v. 29(146), p. 144-166, 2014.
- RESHETYUK, Y.; MÅRTENSSON, S-G. Generation of highly accurate digital elevation models with unmanned aerial vehicles. **The Photogrammetric Record**, v. 31(154), p. 143-165, 2016.
- SANTISE, M.; FORNARI, M.; FORLANI, G.; RONCELLA, R. Evaluation of DEM generation accuracy from UAS imagery. **International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, v. 40(5), p. 529-536, 2014.
- SENSEFLY. **eBee: The professional mapping drone**. Disponível em: <<https://www.sensefly.com/drones/ebee.html>>. Acesso: 25 de novembro de 2016.
- SIEBERT, S.; TEIZER, J. Mobile 3D mapping for surveying earthwork projects using an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) system. **Automation in Construction**, v. 41, p. 1-14, 2014.
- SILVA, C. A.; DUARTE, C. R.; SOUTO, M. V. S.; SANTOS, A. L. S.; AMARO, V. E.; BICHO, C. P.; SABADIA, J. A. B. Avaliação da acurácia do cálculo de volume de pilhas de rejeito utilizando VANT, GNSS E LiDAR. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 22, n. 1, p. 73-94, 2016.
- STÖCKER, C.; ELTNER, A.; KARRASCH, P. Measuring gullies by synergetic application of UAV and close range photogrammetry — A case study from Andalusia, Spain. **Catena**, v. 132, p. 1-11, 2015.