

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE GEOMÉTRICA DE MODELOS DIGITAIS DO TERRENO OBTIDOS A PARTIR DE IMAGENS ADQUIRIDAS COM VANT

J. M. Komazaki¹, P. O. Camargo¹, M. Galo¹, A. Amorim¹

¹Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Brasil

Comissão IV – Sensoriamento Remoto, Fotogrametria e Interpretação de Imagens

RESUMO

Com o avanço tecnológico em sensores bem como na automação de algumas etapas do processo de produção cartográfica houve um aumento na produção e usuários de geoinformação, principalmente utilizando a tecnologia baseada em Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT), devido a facilidade na obtenção de imagens de alta resolução espacial e temporal a um baixo custo. Assim, para que um produto digital possa ser aceito como produto de referência do Sistema Cartográfico Nacional (SCN), 90% dos pontos coletados no produto cartográfico, quando comparadas com suas coordenadas levantadas em campo, devem apresentar os valores iguais ou inferiores aos previstos no PEC-PCD (Padrão de Exatidão Cartográfica dos Produtos Cartográficos Digitais), definido pela INDE (Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais). Neste trabalho foi avaliada a qualidade posicional altimétrica, em termos de tendência e precisão, dos Modelos Digitais do Terreno (MDTs) obtidos a partir das imagens adquiridas com o VANT eBee com GSD (*Ground Sample Distance*) de 15 cm, considerando diferentes quantidades de pontos de apoio no georreferenciamento dos produtos. Os resultados obtidos quanto à tendência mostraram que somente o MDT gerado sem a utilização de pontos de apoio possuíam efeitos sistemáticos. Em relação à precisão, todos os MDTs atenderam o EP estabelecido pela PEC-PCD - Classe A para escala 1/1.000 e menores.

Palavras-chave: Controle de Qualidade, MDT, VANT.

ABSTRACT

With the technological advance in sensors as well as in the automation of some stages of the cartographic production process, there was an increase in the production and users of geoinformation, mainly using the technology based on Unmanned Aerial Vehicle (UAV), due to the ease in obtaining images of high spatial and temporal resolution at a low cost. Thus, for a digital product can be accepted as a reference product of the National Cartographic System (SCN), 90% of the points collected in the cartographic product, when compared to its coordinates collected in the field, should present values equal to or lower than those foreseen in the PEC-PCD (Cartographic Accuracy Standard for Digital Cartographic Products), defined by INDE (National Spatial Data Infrastructure). In this work, we evaluated the altimetric positional quality, in terms of trend and precision, of the Digital Terrain Models (MDTs) obtained from the images acquired with the UAV eBee with GSD (*Ground Sample Distance*) of 15 cm, considering different amounts of support points in product georeferencing. The results obtained for the trend showed that only the MDT generated without the use of support points had systematic effects. Regarding accuracy, all MDTs met the EP established by PEC-PCD - Class A for scale 1 / 1,000 and smaller.

Keywords: Quality Control, DTM, UAV.

1- INTRODUÇÃO

O processo cartográfico associado ao computador e as novas tecnologias fez com que o aumentasse o número de empresas/autônomos que produzem geoinformação, bem como o número de usuários. A mudança de tecnologia fez com que a cartografia passasse da representação do produto final impresso em folha de papel para um arquivo digital

(JÚNIOR, 2003); cujo rigor na qualidade aumentou ainda mais com a Especificação Técnica para a Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-ADGV) e com a Especificação Técnica dos Produtos de Conjuntos de Dados Geoespaciais (ET-PCDG), que apresenta os valores referentes ao Padrão de Exatidão Cartográfica de Produtos Cartográficos Digitais (PEC-PCD), e complementam os estabelecidos, para produtos

impressos, no Decreto nº 89.817, de 20 de junho de 1984. (INDE, 2012).

Uma das mais recentes tecnologias que vem sendo utilizada em mapeamento fotogramétrico, bem como em outras atividades, tais como: exploração mineral, transportes, agricultura de precisão, geologia, monitoramento ambiental, diversão, saúde e segurança pública, etc., é o Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT), equipado com um sistema de câmera fotográfica digital comum ou infravermelho, com um sistema GNSS (*Global Navigation Satellite System*) para determinar a posição do centro de cada fotografia, com uma IMU (*Inertial Measurement Unit*), que permite a determinação da orientação exterior aproximada para cada imagem tomada durante o voo, um link de rádio e uma CPU que controla o voo, que é realizado por um sistema remoto. Na área de mapeamento fotogramétrico os estudos relacionados às imagens obtidas com o uso de um VANT são recentes e relacionadas com produção e avaliação da qualidade sendo, portanto, de suma importância que pesquisas sejam desenvolvidas nesta direção. (HAARBRINK; EISENBEISS, 2008; SILVA; NAZARENO, 2009; VALLET et al., 2011; TAHAR et al., 2012; LEITE; PALERMO, 2013; CARRASCOSA et al., 2014; BARAZZETTI et al., 2014; YANG, 2014; SILVA et al., 2014; ALVES JÚNIOR et al., 2015).

Neste trabalho será discutida e avaliada a qualidade posicional altimétrica dos produtos cartográficos (MDTs) obtidos a partir das imagens adquiridas por meio de um VANT, com tamanho do pixel no terreno (*Ground Sample Distance - GSD*) igual a 15 cm, considerando diferentes quantidades de pontos de apoio no georreferenciamento dos mesmos. A avaliação da qualidade posicional altimétrica será realizada a partir da análise de tendência e precisão dos produtos.

2- METODOLOGIA

O VANT utilizado para o levantamento das imagens foi o eBee, que possui sistema inercial integrado, sistema de navegação GNSS, câmera RGB de 16 MP, bateria e link de rádio, conforme a Figura 1.



Figura 1 – VANT eBee.

A área de estudo escolhida foi a região de Presidente Prudente (SP), onde previamente foram definidos e sinalizados os pontos de apoio e de verificação (Figura 2).

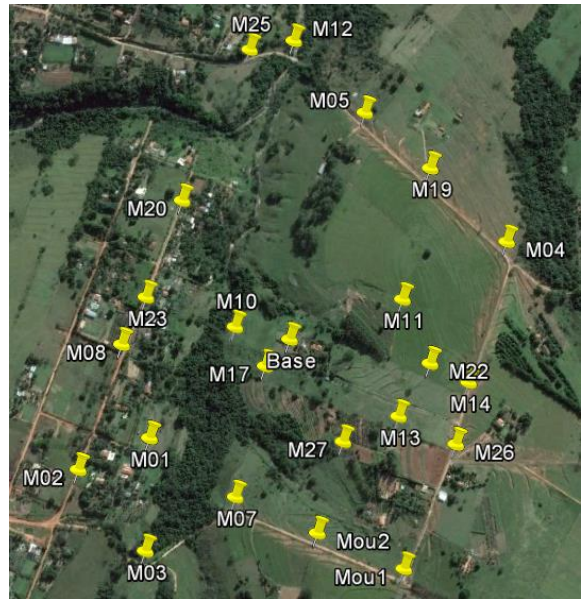


Figura 2 – Distribuição dos pontos de apoio e verificação na área de estudo.

As coordenadas dos pontos de apoio e verificação foram obtidas a partir de levantamento com receptores GNSS (*Global Navigation Satellite System*), a partir do método de posicionamento relativo estático rápido, visto que foi implantada uma base na área de estudo e com isso, as linhas de bases ficaram inferiores a 10 km.

As imagens adquiridas em campo em um voo de aproximadamente 500 m, foram processadas no software *Postflight Terra 3D*, utilizando duas metodologias: sem e com os pontos de apoio, conforme as Figuras 3 e 4, respectivamente. Na segunda metodologia foram realizados três experimentos variando a quantidade de pontos injuncionados, obtendo se assim os produtos com 4, 8 e 12 pontos de apoio.



Figura 3 – Exemplo do processamento das imagens no software sem pontos de apoio.

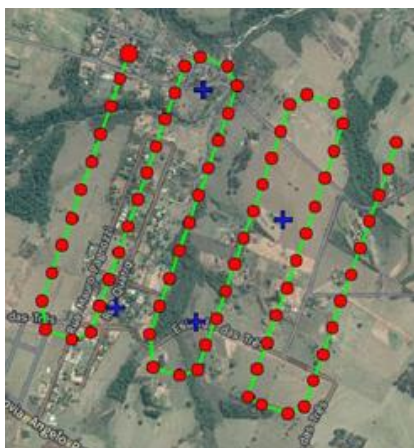


Figura 4 – Exemplo do processamento das imagens no software com a inserção de 4 pontos de apoio.

Portanto, realizados todos os processamentos, foram gerados os MDTs sem e com pontos de apoio terrestre, de acordo com a Figura 5.

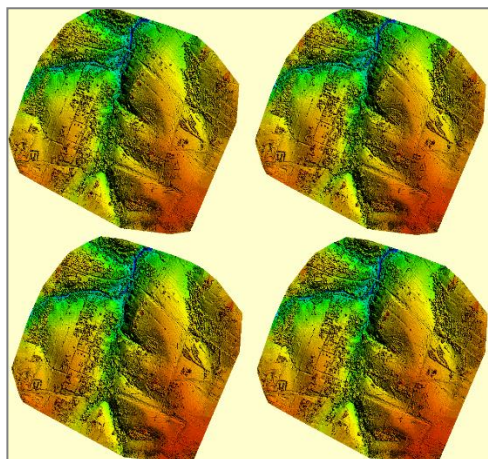


Figura 5 – MDTs gerados sem apoio; com 4, 8 e 12 pontos de apoio; respectivamente.

Gerados os MDTs, foram feitos os cálculos para a análise posicional dos produtos de acordo com a PEC-PCD estabelecido pela INDE (2012). Esse parâmetro norteia o processo de determinação e quantificação da exatidão de uma carta, podendo essas ser classificadas nas classes A, B, C e D, de acordo com a Figura 6.

PEC-PCD ⁽³⁾	1:1.000		1:2.000		1:5.000		1:10.000	
	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)
A	0,27	0,17	0,27	0,17	0,54	0,34	1,35	0,84
B	0,50	0,33	0,50	0,33	1,00	0,66	2,50	1,67
C	0,60	0,40	0,60	0,40	1,20	0,80	3,00	2,00
D	0,75	0,50	0,75	0,50	1,50	1,00	3,75	2,50

Figura 6 – PEC-PCD para altimetria (MDT, MDE e MDS).

Fonte: Adaptado INDE (2012).

3- RESULTADOS E DISCUSSÕES

As análises foram realizadas de forma a evidenciar a diferença do georreferenciamento dos MDTs gerados a partir de diferentes quantidades de pontos de apoio, considerando o GSD de 15 cm.

Os pontos de apoio foram bem distribuídos na área de estudo. Assim, foram utilizadas diferentes quantidades de pontos de verificação para avaliação dos MDTs, sendo respectivamente: 16, 13, 9 e 5 pontos de verificação.

Na Tabela 1 estão as estatísticas (média, desvio padrão, maior e menor valor) das discrepâncias calculadas entre as coordenadas dos pontos de verificação obtidas com GNSS com as observadas nos MDTs.

Tabela 1 – Estatísticas das discrepâncias nos pontos de verificação.

Parâmetros	Média (m)	Desvio Padrão (m)	Valor Máximo (m)	Valor Mínimo (m)
Sem PA	0,147	4,226	4,585	4,024
4 PA	-0,036	0,096	0,168	-0,131
8 PA	0,042	0,183	0,395	-0,262
12 PA	-0,017	0,078	0,052	-0,140

*PA = pontos de apoio

Com base na Tabela 1, é possível observar que os produtos gerados com 4, 8 e 12 pontos de apoio apresentaram uma discrepância média, respectivamente, de: $-0,036 \pm 0,026$ m, $0,042 \pm 0,061$ m e $-0,017 \pm 0,034$ m, com máximas discrepâncias de 0,168 m, 0,395 m e 0,052 m; enquanto que no MDT sem pontos de apoio a média foi de $0,147 \pm 1,056$ m e a máxima discrepância de 4,585 m.

A análise de tendência verifica se estatisticamente a média das discrepâncias pode ser considerada igual a zero. Essa análise foi realizada pela distribuição t-student, no qual o valor calculado a partir das discrepâncias é comparado com um valor teórico com (n-1) graus de liberdade e um determinado nível de significância (α), de acordo com a Equação (01).

$$\{|t_H| < t_{(n-1, \frac{\alpha}{2})}\} \quad (01)$$

Os valores calculados para a distribuição t-student, com nível de significância de 10%, bem como a classificação quanto à tendência são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 - Classificação dos produtos gerados quanto à tendência.

MDT	$t_{(AH)}$	gl	$t_{(n-1, 10\%)}^{\text{Teórico}}$	Classificação
Sem PA	114,802	15	1,753	Com tendência
4 PA	-1,351	12	1,782	Sem tendência
8 PA	0,686	8	1,860	Sem tendência
12 PA	-0,475	4	2,132	Sem tendência

A partir da Tabela 2 é possível observar que somente o produto gerado sem a utilização de pontos de apoio possuiu tendência, ou seja, erro sistemático; pois, o valor amostral t-student é maior que o valor teórico. Para os demais, o valor amostral foi menor que o teórico, o que significa que 90% das discrepâncias entre as coordenadas dos pontos coletados no produto cartográfico não apresentaram tendência, ou seja, estão isentos de efeitos sistemáticos, conforme pode ser observado na Figura 7. Nessa figura, as retas horizontais representam os valores da precisão esperada para os pontos altimétricos, em função do GSD (1, 2 e 3xGSD), conforme Hasegawa (2012).

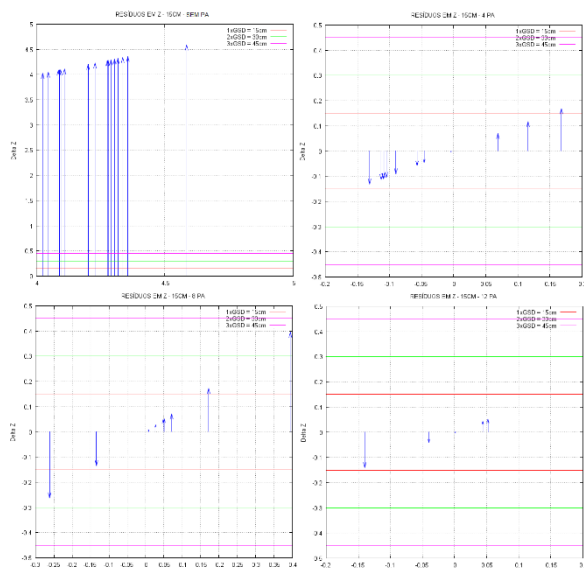


Figura 7 - Discrepâncias altimétrica dos pontos de verificação sem apoio e com 4, 8 e 12 pontos de apoio, respectivamente.

A partir da Figura 7 é possível observar que, conforme já verificado, somente o MDT sem apoio possuiu tendência, com erro sistemático variando aproximadamente de 4 a 5 m. Nos MDTs apoiados as discrepâncias não foram superiores a 2xGSD, que corresponde a precisão esperada para a altimetria obtidas a partir de imagens digital. Já no produto apoiado com 12 pontos as discrepâncias não passaram de 1xGSD.

Para classificar os produtos gerados de acordo Padrão de Exatidão Cartográfica de Produtos Cartográficos Digitais (PEC-PCD) foi realizada análise da precisão, comparando-se o desvio padrão das

discrepâncias com o desvio padrão esperado em função da escala do produto. A partir das discrepâncias obtidas nos MDTs realizou-se o cálculo do Qui-quadrado amostral que foi comparado com valor teórico, determinado a partir de um nível de significância de 10% e $*(n-1)$ graus de liberdade, de acordo com a Equação 02, variando de acordo com o número de pontos de verificação em cada MDT (Tabela 3).

$$\{\chi_{H, (n-1)}^2 \leq \chi_{(n-1, \alpha)}^2\} \quad (02)$$

Tabela 3 - Classificação dos produtos gerados quanto à precisão, considerando a Classe A como referência.

MDT	$\chi_{(AH)}^2$	EP	$\chi_{(n-1, 10\%)}^2$ Teórico	Classificação Classe A
Sem PA	11,254	0,17	22,307	1/1.000 e menores
4 PA	3,847	0,17	18,549	1/1.000 e menores
8 PA	9,247	0,17	13,362	1/1.000 e menores
12 PA	0,846	0,17	7,779	1/1.000 e menores

Baseado na Tabela 3 pode-se constatar que os valores calculados foram menores que os valores teóricos a um nível de significância de 10% para todos os produtos, tanto para os que não utilizaram pontos de apoio, como para os que utilizaram, o que significa que todos os produto atenderam o EP estabelecido pelo PEC-PCD para a Classe A para as escalas 1/1.000 e menores.

4- CONSIDERAÇÕES

Os experimentos mostraram que somente os produtos gerados sem a utilização de pontos de apoio apresentaram tendência. Já os produtos gerados com a utilização de pontos de apoio ficaram isentos de efeitos sistemáticos, e conforme Hasegawa (2012) atenderam a precisão esperada, sendo as discrepâncias menores que 3xGSD na altimetria. Em relação a precisão, todos atenderam o EP estabelecido pela PEC-PCD - Classe A para escala 1/1.000 e menores.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CNPq pela bolsa de mestrado e ao PPGCC pela infraestrutura fornecida.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES JÚNIOR, L. R.; CÔRTEZ, J. B. R.; FERREIRA, M. E.; SILVA, J. R, 2015. Validação de ortomosaicos e Modelos Digitais de Superfície utilizando fotografias obtidas com câmera digital não métrica acoplada a um VANT. In Simpósio Brasileiro

de Sensoriamento Remoto. João Pessoa-PB, Brasil, XVII, 2157-2164.

BARAZZETTI, L.; BRUMANA, R.; ORENI, D.; PREVITALI, M.; AND RONCORONI, F, 2014. True-orthophoto generation from UAV images: Implementation of a combined photogrammetric and computer vision approach, In ISPRS Annals on the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Riva del Garda, Italy, II-5, 57-63.

CARRASCOSA, F. J. M.; RUMBAO, I. C.; BERROCAL, J. A. B.; PORRAS, A. G. F, 2014. Positional quality assessment of orthophotos obtained from sensors onboard multi-rotor UAV platforms. Sensors, 14, 22394-22407.

HAARBRINK, R. B.; EISENBEISS H, 2008. Accurate dsm production from unmanned helicopter systems. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. XXXVII, Beijing, 1259-1264.

HASEGAWA, J. K. Teoria das orientações (analítica/digital): precisão e planejamento da restituição. Notas de aula, Fotogrametria II. UNESP. Presidente Prudente, 2012.

INDE (Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais). Especificação técnica para a aquisição de dados geoespaciais vetoriais – 2º ed. - Diretoria de Serviço Geográfico do Exército Brasileiro, 2012.

JÚNIOR, J. B. N. Controle de qualidade de produtos cartográficos: uma proposta metodológica. 143f. Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas) – UNESP, Presidente Prudente, 2003.

LEITE, T. C.; PALERMO, R. A. Integração de levantamento fotogramétrico aéreo com o uso de vant e levantamento fotogramétrico terrestre para o mapeamento tridimensional das ruínas de são miguel das missões. 174f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Cartográfica). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

SILVA, D. C.; TOONSTRA, G. W. A.; SOUZA, H. L. S.; PEREIRA, T. Á. J, 2014. Qualidade de ortomosaicos de imagens de vant processados com os softwares aps, pix4d e photoscan. In Simpósio Brasileiro de Ciências

Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. Pernambuco, Recife, V, 747-754.

SILVA, L. A.; NAZARENO, N. R. X, 2009. Análise do padrão de exatidão cartográfica da imagem do Google Earth tendo como área de estudo a imagem da cidade de Goiânia. In Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Natal, Brasil, XIV, 1723-1730.

TAHAR, K. N.; AHMAD, A.; AKIB, W. A. A. W. M.; MOHD, W. M. N. W, 2012. Assessment on ground control points in unmanned aerial system image processing for slope mapping studies. International Journal of Scientific & Engineering Research, 3.

VALLET, J.; PANISSOD, F.; STRECHA, C.; TRACOL, M. Photogrammetric performance of an ultra light weight swinglet “UAV”, 2011. In International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Zurich, Switzerland, XXXVIII-1, 253-258.

YANG, R, 2014. Application of low-altitude UAV aerial photography system in 1:2000 orthophoto map production. FIG Congress 2014. Kuala Lumpur, Malaysia.