

ANÁLISE DA QUALIDADE POSICIONAL DE MODELO DIGITAL DE SUPERFÍCIE GERADO A PARTIR DE CORRESPONDÊNCIA DE IMAGENS AÉREAS OBTIDAS POR RPAS

G. G. Pessoa¹, A. C. Carrilho¹, G. T. Miyoshi¹, A. Amorim², M. Galo²

Universidade Estadual Paulista - UNESP, Brasil
Faculdade de Ciências e Tecnologia - FCT

¹ Programa de Pós-Graduação em Ciências Cartográficas - PPGCC

² Departamento de Cartografia

Comissão IV - Sensoriamento Remoto, Fotogrametria e Interpretação de Imagens

RESUMO

Os RPAS têm se mostrado uma alternativa de baixo custo para obtenção de imagens aéreas. A capacidade de carga é uma das limitações dessa plataforma, o que inviabiliza a utilização de sistemas fotogramétricos robustos. Este trabalho apresenta um estudo de caso cujo objetivo é avaliar o impacto do número de pontos de controle na qualidade de modelos digitais de superfície (MDS) gerados a partir de imagens adquiridas por RPAS. Para tal, utilizou-se imagens aéreas com *ground sample distance* (GSD) de 8 cm, em processamentos distintos, sendo feita a análise estatística dos MDS gerados. Os resultados mostram que os resíduos dos pontos de verificação, para os processamentos com até 1 ponto de controle apresentaram valores altos de tendência. Além disso, a análise de precisão mostrou que a partir de 3 pontos de controle os resultados satisfizeram o PEC-PCD para escala de 1:1.000.

Palavras-chave: RPAS, MDS, Controle de Qualidade, Pontos de Controle.

ABSTRACT

RPAS has been used as a low-cost alternative to obtaining aerial information. The payload is one of the limitations of this kind of platform, which makes it impossible to use robust photogrammetric systems. This work presents a case study whose objective is to evaluate the impact of the number of control points in the generation of Digital Surface models (DSM) acquired with one RPAS platform. For this purpose aerial images with ground sample distance (GSD) of 8 cm were used in different processing, followed by statistical analysis of the generated MDS. The results show that the residuals of the checkpoints, for the processes with up to 1 control point, presented high trend values. In addition, the precision analysis showed that from 3 control points the results satisfied the PEC-PCD for 1:1.000 scale.

Keywords: RPAS, DSM, Quality Control, Control Point.

1- INTRODUÇÃO

No ramo da Cartografia, os Modelos Digitais de Terreno (MDT) e Modelos Digitais de Superfície (MDS) são fontes relevantes de informações altimétricas, frequentemente utilizados em diversas aplicações. Dentre elas, a geração de ortofotos e ortoimagens, mapas topográficos, entre outras. Os MDT e MDS são produtos diferentes, sendo que o primeiro considera a elevação da grade proveniente apenas de pontos localizados na superfície nua do terreno, e o segundo, por sua vez, considera um produto que incorpora valores de elevação das feições

naturais e artificiais, situadas acima da superfície nua do terreno (Li et al., 2005).

As principais fontes de dados para a geração de tais modelos são derivadas de curvas de nível digitalizadas, de métodos fotogramétricos, de levantamentos topográficos e geodésicos, e ainda por meio de varredura a LASER e RADAR. Ainda no âmbito das fontes de dados os Veículos Aéreos Remotamente Pilotados (RPAS), plataformas aéreas de operação mais flexível quando comparadas às aeronaves tripuladas, tem se destacado. Diversos autores têm desenvolvido trabalhos fazendo uso da plataforma RPAS para aquisição de dados, como pode-

se ver em Eisenbeiss e Zhang (2006), Zarco-Tejada et al. (2014) e Colomina e Molina (2014), dentre outros.

A popularização dessa plataforma, inicialmente desenvolvida para fins militares (Colomina e Molina, 2014), vem acompanhando o desenvolvimento tecnológico, que possibilitou a miniaturização de alguns sensores, tais como os receptores GNSS (*Global Navigation Satellite System*) e sistemas inerciais do tipo *Micro Electro Mechanical Systems* (MEMS), os quais permitiram a automação da navegação e a aquisição dos dados de trajetória, utilizados nos processamentos fotogramétricos. Tais avanços foram providenciais para o desenvolvimento dos RPAS, uma vez que a principal limitação dessa plataforma consiste na capacidade de carga, o que inviabiliza a utilização de robustos sistemas de imageamento fotogramétricos, geralmente embarcados em aeronaves tripuladas.

A qualidade posicional resultante de processos fotogramétricos depende dos sensores de imageamento embarcados, dos sensores de trajetória, da geometria do bloco e da quantidade de pontos de controle (Harwin et al., 2015). Neste sentido, considerando que um dos principais fatores envolvidos nas tarefas de mapeamento é a precisão almejada para os produtos gerados, tem-se que a qualidade da informação altimétrica, gerada a partir do uso dessa plataforma e de sensores de baixo custo, deve ser investigada (Karel, Pfeifer e Briese, 2006).

Considerando o crescente interesse, da comunidade científica e dos usuários, na utilização dessa plataforma, principalmente, para a geração de MDT e MDS e ainda considerando que os sistemas sensores embarcados em RPAS não foram desenvolvidos para fins de mapeamento, com rigor geométrico equivalente ao estado da arte do segmento (câmaras métricas, por exemplo), comprometendo assim a acurácia dos produtos gerados, este trabalho apresenta um estudo sobre a qualidade geométrica de MDS, obtidos a partir do uso de RPAS e técnicas fotogramétricas considerando diversas configurações de pontos de controle. Para a avaliação da qualidade posicional foram considerados os padrões de qualidade adotados para os produtos cartográficos digitais - PEC-PCD (CONCAR, 2011).

2- ÁREA TESTE

A área de estudo localiza-se na região de expansão urbana do município de Presidente Prudente – SP, mais precisamente no bairro do Gramado, cujas coordenadas aproximadas do centro da área corresponde ao ponto de Latitude 22,133080° S e Longitude 51,347317° W (WGS84). A implantação da área teste contemplou a materialização e coleta (rastreamento por receptores GNSS) de 25 pontos, divididos entre controle e verificação. A Figura 1 apresenta a área de estudo delimitada e ilustra a disposição final dos pontos (Amorim et al., 2016).

Para a materialização dos pontos foram utilizados marcos de concreto tronco-piramidais, na cor amarela, com dimensões de 60 cm de altura e topo quadrado de 10x10 cm. Esses marcos foram implantados de modo que ficassem parcialmente aterrados (aproximadamente 15 cm a partir da superfície do solo).



Figura 1 – Área de estudo.

3- MATERIAIS E MÉTODOS

O levantamento aéreo realizado, a fim de obter as fotografias da área, foi feito a partir da utilização de um RPAS, modelo Ebee, da fabricante Sensefly. A plataforma utilizada neste trabalho possui sensores de posicionamento (GNSS) e inercial (MEMS) acoplados, bem como, uma câmara digital RGB, modelo Canon ELPH 110 HS de 16 MP.

4- GERAÇÃO DOS MDS

Para a realização das tomadas de fotografias, foram elaborados planos de voos em que foram previstas linhas de voo paralelas entre si, com sobreposição longitudinal de 80%, lateral de 60% e altura média de voo de 260 m, resultando em um *ground sample distance* (GSD) de 8 cm. Tais sobreposições são indicadas pelo fabricante, devido ao fato do RPAS ser um equipamento leve (0,650 Kg) e sofrer deslocamentos e mudanças de orientação causadas pela variação da intensidade e direção do vento.

Para a geração dos MDS foram utilizadas 76 imagens recobrando toda a área de estudo (Figura 2), as informações de orientação exterior aproximadas (obtidas pelos sensores, GNSS e inercial, acoplados ao RPAS) e as coordenadas dos pontos de controle. Os processamentos foram feitos no programa Pix4D Mapper Pro, o qual emprega o método *Structure from Motion* (SfM), que consiste da medição de pontos fotogramétricos (extração de pontos de interesse), fototriangulação simultânea por feixes de raios perspectivos (*Bundle Block Adjustment*) e correspondência de imagens para geração de nuvem de

pontos densa (empregando técnicas como o *Semi-Global Matching* – SGM, por exemplo).

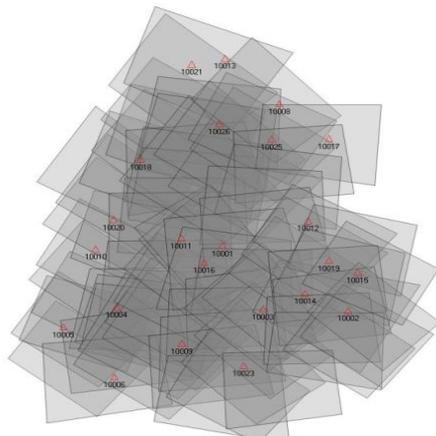


Figura 2 – Bloco fotogramétrico.

Ao todo foram realizados seis processamentos, empregando 0, 1, 3, 5, 8 e 11 pontos de controle. Esta variação na quantidade de pontos de controle tem a finalidade de analisar o comportamento da Raiz Quadrada do Erro Médio Quadrático (REM_Q) nas três componentes (X, Y e Z), bem como obter estimativas de tendência e precisão dos MDS gerados. Nos processamentos, os parâmetros de orientação exterior, obtidos pelos sensores embarcados, e os parâmetros de orientação interior, obtidos por meio de um processo de calibração, foram introduzidos como valores aproximados. Para detalhes sobre o processo de calibração dos POI ver Pessoa (2017). Destaca-se ainda que foram aplicadas injunções nos pontos de controle, adotando desvio padrão de 0,03 m para as coordenadas obtidas por GNSS.

Do total de 25 pontos implantados, 23 foram utilizados neste experimento. Assim, para cada teste o total de pontos de verificação foi dado pelo total de pontos (23) menos o total de pontos utilizados como pontos de controle.

5- ANÁLISES DA ACURÁCIA POSICIONAL

A partir dos MDS gerados, foram calculados valores de discrepâncias para as 3 componentes (X, Y, Z), considerando cada um dos pontos de verificação.

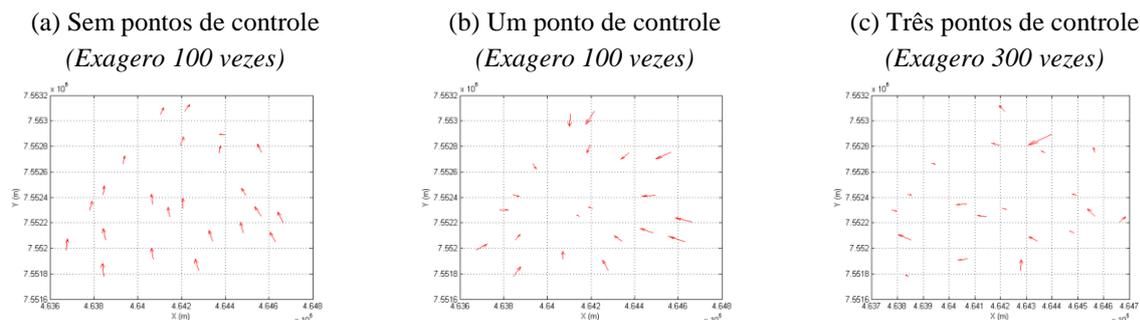


Figura 4 – Vetores dos resíduos (X, Y), para os processamentos com 0, 1 e 3 pontos de controle.

Com base nas discrepâncias encontradas, foram calculados os valores de REM_Q (Figura 3) e, por fim, foram calculadas estimativas de tendência e precisão, a fim de analisar a qualidade geométrica.

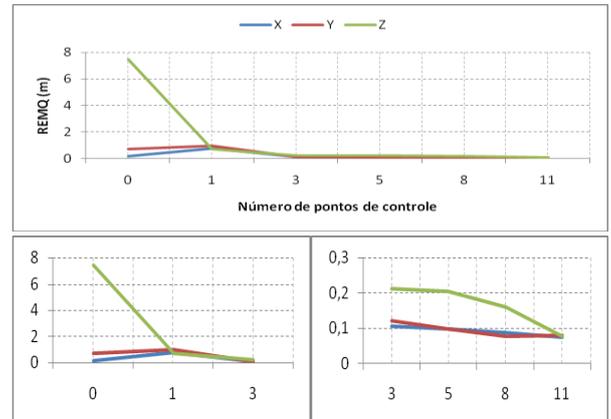


Figura 3 – Valores de REM_Q para diferentes números de pontos de controle.

A partir da Figura 3 verifica-se que a componente Z apresenta-se bem comprometida ao não utilizar pontos de controle, com valor de REM_Q superior a 7 m. Considerando o segundo teste (com 1 ponto de controle), nota-se que o REM_Q para a componente Z foi reduzida para um valor inferior a 1 m, mostrando que apenas a inserção de 1 ponto de controle no bloco já beneficia a qualidade dos resultados. Ainda no experimento com 1 ponto de controle, um resultado interessante é apresentado para as componentes X e Y, nas quais é possível notar que houve degradação da qualidade. Por fim, os demais experimentos, considerando 3, 5, 8 e 11 pontos de controle, apresentaram valores de REM_Q inferiores à 20 cm, não apresentando melhora significativa na precisão em função do aumento do número de pontos utilizados como controle, a partir de 3 pontos.

Os resíduos planimétricos, resultantes dos pontos de verificação, foram plotados para as seis configurações, a fim de espacializar e analisar o efeito da adição de pontos de controle, na qualidade posicional do MDS gerado (Figuras 4 e 5).

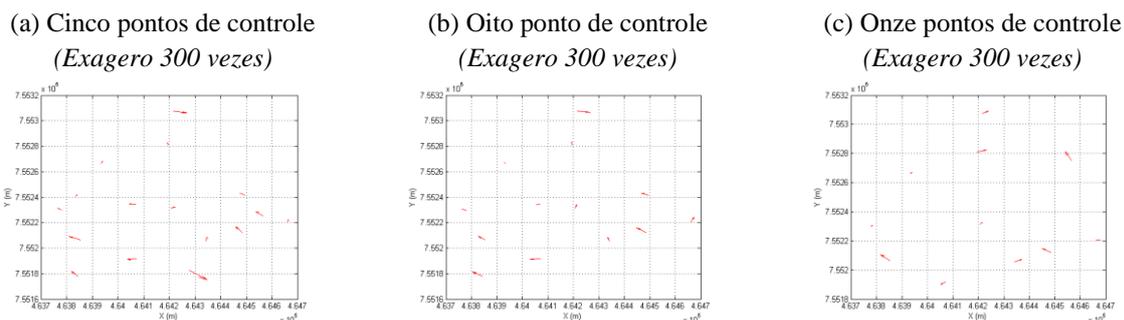


Figura 5 – Vetores dos resíduos (X, Y), para os processamentos com 5, 8 e 11 pontos de controle.

Com base na Figura 4 (a) nota-se que os pontos apresentam vetores dos resíduos com direção predominante positiva em Y, apresentando tendência do MDS gerado nesta componente, diferente do que ocorre com a componente X. Observando a Figura 4 (b), é possível notar que o MDS gerado com a utilização de 1 ponto de controle corrigiu a tendência, mas pela direção dos vetores é possível notar que houve uma variação de escala do bloco. Os valores de discrepância, encontrados para os pontos de verificação, apresentam uma visível componente na direção radial

A partir da Figura 4 (c), nota-se no gráfico que há tendência na componente X, visto que a maioria dos vetores está direcionada para a esquerda. Destaca-se ainda que, mesmo com um exagero 3 vezes maior que os gráficos apresentados na Figura 4 (a) e (b), os vetores dos resíduos estão de tamanho semelhante, ou seja, os resíduos diminuiriam com o aumento do

número de pontos de controle, fato que se confirma ao observar os valores apresentados na Tabela 1. O mesmo ocorre para as discrepâncias encontradas nos experimentos utilizando 5, 8 e 11 pontos de controle. Visualizando a Figura 5 (a), (b) e (c), pode-se verificar que o incremento no número de pontos de controle, acima de 3 pontos, pouco influenciou na melhoria na precisão planimétrica do produto analisado.

A partir dos resíduos encontrados para os pontos de verificação, notou-se a proximidade dos valores encontrados, fato que aponta para uma possível tendência nos dados analisados. A fim de analisar a qualidade dos MDS, foram aplicados os métodos de análise baseados nas distribuições estatísticas T de Student e Qui-Quadrado. O resultado das análises de tendência e precisão é apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 – Análise de tendência e precisão, para cada uma das componentes.

Pontos de controle	Análise de tendência - T de Student				Análise de precisão - Qui-Quadrado			
	T Calculado (X,Y,Z)	T Tabelado	χ^2 Calculado (X,Y,Z)	χ^2 Tabelado				
0	1,84	-16,79	101,83	2,07	33,40	63,46	94,36	30,81
1	1,78	-0,21	5,72	2,09	697,23	1311,96	140,89	29,62
3	2,73	-1,89	-1,65	2,09	11,22	17,13	26,88	27,20
5	0,58	-1,36	-2,28	2,13	10,35	9,41	17,13	22,31
8	1,57	-3,55	-2,45	2,18	5,64	2,64	7,69	18,55
11	-0,08	-2,37	-1,23	2,23	4,24	3,17	2,05	15,99

Analisando os valores apresentados na Tabela 1, pode-se notar que em todos os MDS gerados ocorreram tendências em ao menos uma componente. Pode-se ainda concluir que, nos MDS gerados sem pontos de controle e com apenas 1 ponto de controle, os valores calculados de T de Student encontrados são significativamente maiores que os valores encontrados para os demais MDS.

Ainda observando a mesma tabela, é possível verificar que a inserção de mais pontos de controle no processamento fez com que melhorasse

significativamente a precisão. Nota-se que, para os testes sem pontos de controle e com apenas 1 ponto de controle, a precisão esperada para o mapeamento na escala 1:1.000 não foi atingida em nenhuma das componentes. No caso do processamento sem pontos de controle, a precisão foi prejudicada pela translação dos pontos estimados em relação aos pontos de verificação.

Pode-se justificar tais resultados devido às coordenadas dos parâmetros de orientação exterior das imagens terem sido estimados pelo sensor GNSS

embarcado no RPAS, sensor de simples frequência e de baixo custo. No caso do processamento com 1 ponto de controle, a precisão foi degradada principalmente por um aparente efeito de escala no bloco. Tal comportamento pode ser observado pelo gráfico apresentado na Figura 4 (b), em que os pontos de verificação apresentaram resíduos predominantemente na direção radial. Destaca-se ainda que, as magnitudes dos resíduos aumentam de maneira proporcional à distância dos pontos de verificação aos pontos de controle.

6- CONCLUSÃO

Os RPAS possuem uma ampla variedade de usos, dentre eles, a finalidade de mapeamento para reconhecimento de uso e cobertura do solo e auxílio em tomadas de decisões. No entanto, o principal fator complicador está na limitação de carga destes equipamentos. O uso de sensores de baixo custo pode implicar em baixa performance, quando utilizado para fins de mapeamento. No entanto deve-se considerar que a qualidade dos produtos finais gerados está diretamente relacionada à precisão geométrica dos equipamentos utilizados, bem como dos parâmetros de orientação interior da câmara, da geometria das imagens utilizadas e da quantidade de pontos de controle utilizados no ajustamento do bloco fotogramétrico.

Com base no comportamento dos resíduos, pode-se dizer que os produtos gerados sem pontos de controle apresentaram um efeito de translação e rotação das coordenadas estimadas para as coordenadas reais. Já os produtos com 1 ponto de controle apenas, apresentaram um comportamento semelhante a uma variação de escala, uma vez que a injeção em um ponto possibilita a correção de parte da tendência, mas não da escala.

Os experimentos com 3 ou mais pontos de controle apresentaram comportamento randômico para a direção dos resíduos, sendo que a magnitude diminui à medida que mais pontos são utilizados. Ainda assim, pode-se observar que acima de 3 pontos de controle a melhora da precisão não foi significativa, principalmente em planimetria.

Destaca-se ainda que, pelo fato dos sensores embarcados neste tipo de plataforma normalmente serem de baixa precisão, ao comparar com os usados em plataformas aéreas tradicionais, faz-se necessário a utilização de pontos de controle como injeções, a fim de garantir a precisão do processo de fototriangulação que, por sua vez, influencia na precisão dos produtos gerados. Tal fato vem de encontro com os resultados apresentados nos experimentos de análise de qualidade do MDS variando o número de pontos de controle, onde foi verificado a melhoria da qualidade posicional em função do aumento do número de pontos de controle utilizados.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo suporte ao projeto número 1481349.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Amorim, A.; G. G. Pessoa; I. R. Lemes; J. M. Komazaki; L. C. Jorge; M. Galo e P. de O Camargo. 2016. Utilização de VANT para o georreferenciamento de imóveis rurais, em 1º Seminário Internacional UAV (ed) Lisboa : UNL, Lisboa, pp. 25-36.

Colomina, I e P. Molina, 2014. Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 92, pp.79-97.

CONCAR; EXÉRCITO BRASILEIRO - CONCAR-EB. Especificação técnica para a aquisição de dados geoespaciais vetoriais. Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais. 2ed. Brasil. 2011.

Eisenbeiss, H. e Li zhang, 2006. Comparison of DSMs generated from mini UAV imagery and terrestrial laser scanner in a cultural heritage application. International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. 36, Nº 5, pp.90-96.

Harwin, S.; A. Lucieer e J. Osborn, 2015. The Impact of the Calibration Method on the Accuracy of Point Clouds Derived Using Unmanned Aerial Vehicle Multi-View Stereopsis. Remote Sensing, Vol. 7, Nº 9, pp.11933-11953.

Karel, W.; N. Pfeifer e C. Briese, 2006. DTM quality assessment, em International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vienna, Austria, pp. 7-12.

Li, Z.; Q. Zhu e C. Gold, 2005. Digital Terrain Modeling: Principles and Methodology, Boca Raton, CRC Press, 323 páginas.

Pessoa, G. G, 2017. Análise da Estabilidade e Influência dos Parâmetros de Calibração de uma Câmara Digital Não Métrica na Fototriangulação. Dissertação (Mestrado em Ciências Cartográficas) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista. Presidente Prudente, pp. 111.

Zarco-Tejada, P. J.; R. Diaz-Varela, V. Angileri e P Loudjani, 2014. Tree height quantification using very high resolution imagery acquired from an unmanned aerial vehicle (UAV) and automatic 3D photo-reconstruction methods. European journal of agronomy, Vol. 55, pp. 89-99.