

Aerotriangulação com parâmetros adicionais utilizando imagens de uma plataforma VANT

Kelly Cristine Alvares Lima¹

Paula Debiasi¹

Sady Junior Martins da Costa de Menezes¹

¹Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental – UFRRJ

CEP 23890-000 – Seropédica – RJ, Brasil

kellyengeagri@hotmail.com; paula@ufrj.br;

sadymenezes@yahoo.com.br;

Abstract.

The Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) were originally projected for military tactical missions. With the miniaturization of inertial and imaging sensors, besides improved of controllers softwares such use was also expanded to the civil environment. This platform is defined as low cost, can be controlled remotely or autonomously. Among the several applications, the imaging of targets of interest in the areas of precision agriculture and natural disasters are frequent. Besides the growing dissemination of the use of UAVs, the advantages of its use, as access to places of high risk, and high radiometric quality and spatial, encourage the development of research in this thematic. Research related to the assessment of positional quality of the data derived from the UAV is important, since low-cost sensors are integrated in the platform. These sensors enable the direct georeferencing that consisting in the estimate parameters of exterior orientation at the time of taking the pictures. However, it can be recourse to the calibration service, using mathematical models with additional parameters to improve the accuracy in three-dimensional reconstruction, since these parameters absorb systematic effects present in the image formation process. This research aims at the analysis of aerotriangulation with additional parameters using the models of Brown, Jacobsen, Ebner, Bauer and Lens Distortion. Orthophotomosaics were generated and evaluated from each mathematical model to verify the accuracy of each product. The

orthophotomosaic generated with lens distortion model showed better accuracy and was appointed as best suited for the aerotriangulation with images of the platform used in this research.

Palavras-chave: on-the-job calibration, orthoimage, phototriangulation, UAV, calibração em serviço, ortoimagem, fototriangulação, VANT.

1. Introdução

O desenvolvimento de plataformas VANTs (Veículos Aéreos Não Tripulados) foi motivado por objetivos e aplicações militares como mapeamento de zonas hostis, só recentemente tal plataforma se tornou comum na aquisição de dados no campo da Geomática. Os VANTs são equipados com sistemas de imageamento, como câmeras amadoras e sistemas GNSS/INS (*Global Navigation Satellite System/ Inertial Navigation System*) para posicionamento e atitude da plataforma ao tomar uma imagem e realizam o georreferenciamento direto. NEX E REMONDINO (2013).

As imagens obtidas por plataformas aéreas são frequentemente utilizadas em conjunto com o mapeamento terrestre, como a aquisição de pontos de controle, com a finalidade de fechar possíveis lacunas da modelagem em três dimensões e criar produtos como ortoimagens. PUESCHEL *et al.* (2008); REMONDINO *et al.* (2011).

Erros sistemáticos estão sempre presentes nas imagens e ainda que tenham magnitudes bem pequenas, sua propagação através do ajustamento implica em grande deformação do bloco fotogramétrico. Segundo Ackermann (1981), a minimização desses erros por meio da utilização de parâmetros adicionais no ajustamento de coordenadas é eficaz.

Os modelos matemáticos mais empregados na aerotriangulação com parâmetros adicionais são : modelo de Bauer, Jacobsen, Ebner, Brown e modelo de Distorção das Lentes. MURAY *et al.* (1984); RUY *et al.* (2008).

O modelo de *Bauer* possui três parâmetros, dois deles representam a deformação afim e o outro define as distorções das lentes (Equações 01 e 02):

$$\Delta X = a_1x(r^2 - r_0^2) + a_2x \quad (01)$$

$$\Delta Y = a_1y(r^2 - r_0^2) + a_2y + a_3x \quad (02)$$

Onde, (x,y) são fotocoordenadas, r^2 e r_0^2 as distâncias radiais e (a_1 , a_2 e a_3) os coeficientes do polinômio de Bauer.

O modelo simples de *Jacobsen*, recomendado para câmeras analógicas, é definido por quatro parâmetros correspondentes aos coeficientes de primeira e segunda ordem da deformação afim e o parâmetro que modela a distorção das lentes (Equações 03 e 04):

$$\Delta X = a_1x(r^2 - r_0^2) + a_2x + a_3y \quad (03)$$

$$\Delta Y = a_1y(r^2 - r_0^2) - a_2y + a_3x + a_4x^2 \quad (04)$$

Onde, (a_1, \dots, a_4) são os polinômios de Jacobsen.

O modelo de *Ebner* é composto por doze parâmetros adicionais, que compensam erros sistemáticos como distorção das lentes, deformação afim e deformação do filme. Exige, porém, mais observações e uma configuração estável do bloco (Equações 05 e 06):

$$\Delta X = a_1x + a_2y - a_3 \left(2x^2 - \frac{4r^2}{3} \right) + a_4x + a_5 \left(y^2 - \frac{2r^2}{3} \right) + a_7x \left(y^2 - \frac{2r^2}{3} \right) + a_9y \left(x^2 - \frac{2r^2}{3} \right) + a_{11} \left(x^2 - \frac{2r^2}{3} \right) \quad (05)$$

$$\Delta Y = a_1y + a_2x - a_3xy - a_4\left(2y^2 - \frac{4r^2}{3}\right) + a_6\left(x^2 - \frac{2r^2}{3}\right) + a_8y\left(x^2 - \frac{2r^2}{3}\right) + a_{10}x\left(y^2 - \frac{2r^2}{3}\right) + a_{12}\left(x^2 - \frac{2r^2}{3}\right)\left(y^2 - \frac{2r^2}{3}\right) \quad (06)$$

Onde, a_1, \dots, a_{12} – coeficientes do Polinômio de Ebner.

O modelo de *Brown* tem quatorze parâmetros adicionais que modelam a deformação e não planaridade do filme, as distorção das lentes, entre outros. No entanto, como o modelo de Ebner, necessita de mais pontos de controle e boa distribuição destes (Equações 07 e 08):

$$\Delta X = a_1x + a_2y + a_3y + a_4y^2 + a_5x^2y + a_6xy^2 + a_7x^2y^2 + a_{13}\left(\frac{x}{f}\right)x^2y^2 + a_{14}x(x^2 + y^2) \quad (07)$$

$$\Delta Y = a_8xy + a_9x^2 + a_{10}x^2y + a_{11}xy^2 + a_{12}x^2y^2 + a_{13}\left(\frac{y}{f}\right)x^2y^2 + a_{14}y(x^2 + y^2) \quad (08)$$

Onde, a_1, \dots, a_{14} – coeficientes do Polinômio de Brown.

O modelo de Distorção das lentes é composto por dois parâmetros que visam à determinação dos parâmetros das distorções das lentes, especialmente eficaz com câmeras digitais amadoras. Apesar da terminologia utilizada, o modelo corresponde à distorção radial simétrica, onde k_3 é nulo (Equações 09 e 10):

$$\Delta X = k_1xr^2 + k_2xr^4 \quad (09)$$

$$\Delta Y = k_1y^2 + k_2yr^4 \quad (10)$$

Onde, x, y – fotocoordenadas e k_1, k_2 – parâmetros de distorção das lentes.

Conforme mostrado, os modelos citados fazem uso de polinômios cujos coeficientes modelam efeitos sistemáticos presentes nas imagens.

2. Metodologia de trabalho

A plataforma utilizada para a aquisição dos dados fotogramétricos empregados nesta pesquisa foi o modelo *SenseFly SwingleT CAM* equipado com uma câmara Canon Ixux 120IS, um sensor de posição e um sensor de atitude. A aquisição de 15 imagens, distribuídas em quatro faixas de voo foi realizada no *campus* da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, pela empresa Santiago & Cintra.

A altura de voo se manteve aproximadamente em 188 m, as imagens foram tomadas com sobreposição longitudinal e lateral de 70% e de 60%, respectivamente, e *Ground Sample Distance* (GSD) de 0,06 m. As coordenadas dos centros de perspectiva (CP) das imagens, determinados pelo receptor GNSS da plataforma, foram referenciados ao *Terrestrial Reference System* (TRS), *World Geodetic System* (WGS) 84 (G1150) e Projeção Cartográfica Universal Transversa de Mercator (UTM), zona 23.

Foram rastreados 21 pontos fotoidentificáveis por meio de um par de receptores GNSS da marca ASHTECH, modelo Promark03 com precisão nominal de $\pm (5\text{mm} + 1\text{ppm})$ no modo estático. O tempo de ocupação médio em cada ponto foi de aproximadamente 40 minutos, com intervalo de gravação de 5 segundos e máscara de elevação de 15° . Tais pontos foram utilizados no processo de aerotriangulação, que permitiu testar os

distintos modelos matemáticos com parâmetros adicionais.

A análise do modelo matemático mais satisfatório consistiu em examinar a acurácia do produto final, ortofotomosaicos oriundos de cada modelo utilizado, através da verificação dos valores de média e desvio padrão de 5 pontos de checagem que não fizeram parte do ajustamento realizado pelo *software* utilizado.

3. Resultados e discussões

Foram verificados os valores de média e desvio padrão dos pontos de checagem de cada ortofotomosaico correspondente aos modelos matemáticos apresentados na Tabela 01.

Tabela 01: Estatísticas das Discrepâncias Planimétricas dos Ortomosaicos gerados a partir dos modelos matemáticos de Bauer, Ebner, Brown, Jacobsen e Distorção das Lentes.

| Discrepância Planimétrica (m) | | | | | |
|--------------------------------------|-------|-------|-------|----------|----------------------|
| Modelos: | Bauer | Ebner | Brown | Jacobsen | Distorção das Lentes |
| μ (m) | 0,452 | 0,471 | 0,935 | 0,705 | 0,308 |
| σ (m) | 0,216 | 0,127 | 1,406 | 0,696 | 0,051 |
| RMS (m) | 0,417 | 0,442 | 1,325 | 0,795 | 0,312 |

Pôde-se perceber que um menor valor de discrepância planimétrica está relacionado ao modelo de distorção das lentes, constatando o fato de sua indicação para câmeras amadoras. No entanto, tal modelo proporcionou a análise de apenas quatro pontos de checagem, pois o ortofotomosaico correspondente

apresentou distorções que impossibilitaram a visualização de um dos pontos.

Os modelos de Ebner e Bauer apresentam resultados semelhantes. O modelo que mostrou valores de média e RMS superiores aos demais foi o de Brown que se utiliza de 14 parâmetros adicionais. Dentre todos os apresentados, este consiste no modelo de maior quantidade de parâmetros, podendo justificar seu efeito. Quanto maior o número de fatores que se deseja corrigir, mais complexo, provavelmente, deve ser o modelo e maior é a necessidade de pontos de controle para modelá-lo.

4. Conclusões

Neste trabalho foram apresentados resultados de acurácia de produtos gerados por cinco distintos modelos matemáticos para o cálculo dos parâmetros de correção de efeitos que influenciam de forma direta a qualidade do produto cartográfico final. No caso específico dessa pesquisa, o produto gerado que demonstrou superioridade na qualidade posicional foi o ortofotomosaico advindo do processo de aerotriangulação com parâmetros adicionais das Distorções das Lentes, com uma média de discrepância planimétrica de 30 cm.

AGRADECIMENTOS:

À empresa Santiago e Cintra, pela disponibilização das fotografias aéreas utilizadas na pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Remondino, F.; Barazzetti, L.; Nex, F.; Scaioni, M.; Sarazzi, D. UAV photogrammetry for mapping and 3D modeling - Current status and future perspectives. In: **Int. Archives of**

Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences (ISPRS), 38., 2011, Zurich. Conference UAV-g, Switzerland. Artigos, p. 25-31, On-line. Disponível em: < <http://www.int-arch-photogramm-remote-sens-spatial-infsci.net/XXXVIII-1-C22>>. Acesso em: 07 set. 2014.

Pueschel, H.; Sauerbier, M.; Eisenbeiss, H. A 3D model of Castle Landenberg (CH) from combined photogrammetric processing of terrestrial and UAV-based images. In: **Int. Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences (ISPRS)**, 2008, Beijing, China. Artigos, p. 96–98, Digital Book & Stick, On-line. Disponível em: < <http://www.isprs.org/proceedings/XXXVII/congress/tc6b.aspx>> Acesso em: 25 set. out. 2014.

MURAY, S.; MATSUOKA, R.; OKUDA, T. A study on Analytical Calibration for non Metric Camera and Accuracy of Three Dimensional Measurement. In: **Int. Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences (ISPRS)**, 1984, Rio de Janeiro. XVth ISPRS, Rio de Janeiro. Artigos, p. 570-579, Book, On-line. Disponível em: < <http://www.isprs.org/publications/archives.aspx>> Acesso em 29 set. 2014.

RUY, R. S.; TOMMASELLI, A. M. G.; GALO, M.; HASEGAWA, J. K.; MENOSSI, R. C. Fototriangulação Com Parâmetros Adicionais Para Câmaras Digitais: Uma Avaliação Experimental. **Bol. Ciênc. Geod.**, sec. Artigos, Curitiba, v. 14, n. 4, p.571-587, 2008.

NEX, F.; REMONDINO, F. UAV for 3D mapping applications: a review. **Società Italiana di Fotogrammetria e Topografia (SIFET)**, v.6, p. 1-15, 2013.

ACKERMANN, F. Block Adjustment With Additional Parameters. **Photogrammetria**, v. 36, p. 217-227, 1981.