

AVALIAÇÃO DA EXATIDÃO PLANIMÉTRICA DE UM ORTOMOSAICO GERADO A PARTIR DE IMAGENS TERMAIS OBTIDAS A BORDO DE VANT

Jéssica Villela Sampaio¹, Daniel Andrade Maciel¹, Marielcio Gonçalves Lacerda², e Hermann Johann Heinrich Kux¹

¹Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Avenida dos Astronautas, 1758 - Jardim da Granja - São José dos Campos/SP - CEP 12227-010
jessica.sampaio@inpe.br; daniel.maciel@inpe.br; hermann.kux@inpe.br

²Instituto de Estudos Avançados - IEAv

Trevo Coronel Aviador José Alberto Albano Amarante - Putim - São José dos Campos/SP - CEP 12228-001
marielcio@ieav.cta.br

RESUMO

Os sistemas sensores termiais, apesar de serem utilizados nos mais diversos cenários, geram imagens com baixa resolução espacial e sem feições bem definidas, o que prejudica o seu manuseio e interpretação. Por isso, o grande desafio para os usuários é obter informações de qualidade e com maior precisão possível através dos recursos disponíveis. Neste contexto, o objetivo do artigo é avaliar a exatidão planimétrica de um ortomosaico gerado a partir da fusão de imagens visíveis, de maior qualidade, com imagens termiais, a fim de facilitar o processamento e interpretação de imagens obtidas com a câmera FLIR Duo a bordo de um VANT. A avaliação da qualidade posicional, realizada através de análises estatísticas, classifica o ortomosaico gerado como Classe A na escala de 1:2.000, o que comprova a consistência desta abordagem.

Palavras-chave — Sistemas sensores termiais, VANT, exatidão posicional.

ABSTRACT

Thermal sensor systems, although they are being used in different scenarios, generate images with low spatial resolution and without features definition which impairs their handling and interpretation. Therefore, the great challenge for the user is to obtain quality information as accurately as possible with the resources available. In this context, the aim of this paper is to evaluate the geometric accuracy of an orthomosaic generated by the fusion of high quality visible and thermal images in order to enhance the processing and interpretation of images obtained from a FLIR Duo camera on board of UAV. The standard cartographic accuracy, performed by statistical analysis, classifies the orthomosaic generated as Class A in the scale 1:2.000, which proves the consistency of this approach.

Keywords — Thermal sensor systems, UAV, standard cartographic accuracy.

1. INTRODUÇÃO

Os sistemas sensores termiais, buscam caracterizar o comportamento térmico dos alvos através da aquisição, processamento e interpretação de dados adquiridos na faixa do infravermelho termal. Quando aerotransportados, acrescentam informações espaciais relevantes e, por isso, muitas vezes se tornam imprescindíveis nos mais diversos cenários, como no monitoramento ambiental [1, 2].

Apesar do avanço ocorrido nas últimas décadas, as câmeras termiais comuns acoplada em veículos aéreos não tripulados (VANTs) geram imagens com baixa resolução espacial e relativamente homogêneas, sem feições bem definidas, o que dificulta o seu manuseio [3]. Por isso, segundo Weber et al. (2016), o desafio atual é obter informações de qualidade e com a maior precisão possível considerando os recursos disponíveis.

Além disso, alguns cuidados devem ser levados em conta na obtenção de imagens da superfície terrestre através de VANTs, como a necessidade de um número maior de imagens para compor uma mesma área, a possibilidade de distorções geométricas e a instabilidade da plataforma aérea [2, 4, 5].

Neste contexto, este artigo tem por objetivo avaliar a exatidão planimétrica de um ortomosaico gerado a partir da fusão de imagens nas faixas do visível (RGB) e termal (TIR), obtidas com a câmera FLIR Duo acoplada a um VANT, a fim de facilitar o processamento e interpretação de imagens termiais.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. FLIR Duo

A FLIR System Inc. desenvolveu uma câmera multi-sensor, denominada FLIR Duo, que obtém simultaneamente imagens termiais e visíveis e também possui características específicas, como o seu peso e dimensões, que permitem sua utilização a bordo de VANTs de pequeno porte [6].

A câmera grava as imagens aéreas obtidas em um cartão micro SD em diversos formatos de arquivos, sendo que cada um deles possui características diferentes no que diz respeito ao registro de dados radiométricos. O formato JPEG armazena imagem na faixa do visível comprimida, com resolução de 1920x1080 pixels e FOV de 90°. Enquanto o formato TIFF refere-se ao dado termal bruto de 14 bits, com resolução de 160x120 pixels, que permite registrar valores de temperatura que variam entre -20 a 60°C com uma exatidão de $\pm 5^\circ\text{C}$ ou $\pm 5\%$.

2.2. Realização do levantamento aéreo

O sistema imageador (Figura 1) possui como componentes essenciais a câmera FLIR Duo e o Phantom 4, um VANT fabricado pela empresa DJI. O Phantom originalmente é equipado com um sensor, que permite a obtenção de imagens RGB georreferenciadas - com uma resolução de 5472x3078 pixels e FOV de 84° - um Gimbal, uma bateria e um sistema que viabiliza a comunicação remota com o VANT.



Figura 1. Sistema imageador.

A câmera termal é acoplada ao VANT com a ajuda de um suporte, que consiste em uma caixa sólida que envolve o corpo da mesma a fim de evitar danos na decolagem e pouso, além de alinhar precisamente a câmera e mantê-la estável ao longo do voo.

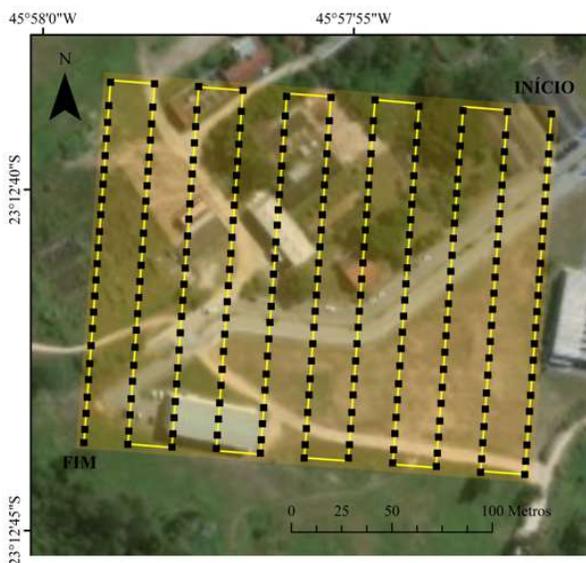


Figura 2. Planejamento do levantamento aéreo.

A seguir foi efetuado o levantamento aéreo em um setor da Universidade do Vale do Paraíba, localizada na divisa dos municípios de São José dos Campos e Jacareí, em São Paulo, a fim de testar o sistema.

Para isso, o planejamento de voo (Figura 2) foi elaborado, no aplicativo Pix4D Capture, de tal modo que a área total (aproximadamente 41.000 m²) fosse sobrevoada mantendo a altura em torno de 30 metros, a fim de possibilitar a obtenção de 656 imagens RGB e termais.

2.3. Processamento e registro

Como já mencionado, as imagens adquiridas com o sistema da câmera FLIR Duo precisam ser pré-processadas antes de serem utilizadas em softwares fotogramétricos disponíveis no mercado para a geração de um ortomosaico preciso, seguindo as etapas expostas na Figura 3.

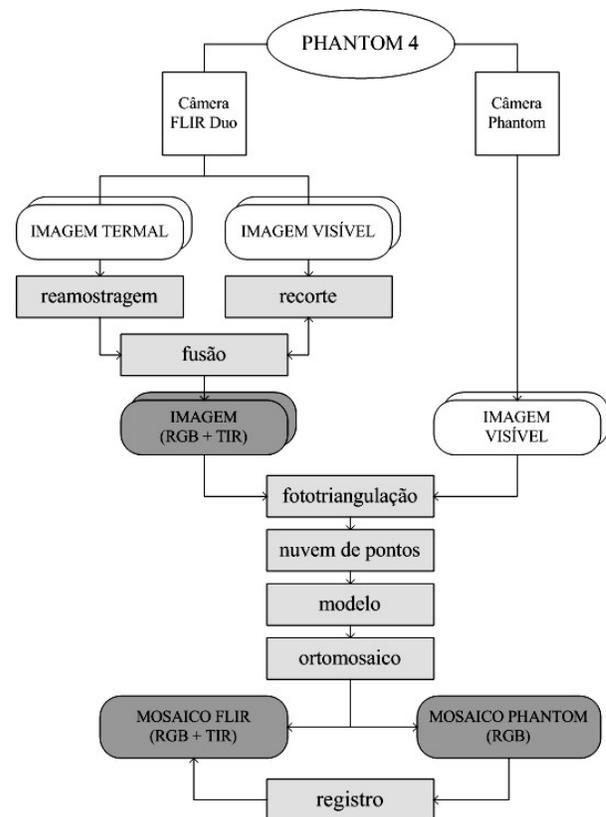


Figura 3. Fluxograma da metodologia empregada para o processamento das imagens termais.

Como as imagens termais e visíveis são obtidas simultaneamente, a uma mesma altura e posição no espaço, assim, os pares de imagens devem mostrar cenas iguais. Desta forma as imagens RGB suprem as limitações das termais. Entretanto, devido ao maior campo de visão (FOV) do sistema sensor na faixa do visível, a imagem RGB apresenta uma cena mais larga em relação à sua termal correspondente.

Assim, o pré-processamento das imagens, realizado no software livre RStudio, segue os seguintes passos: i) A

imagem visível é recortada para que a área imageada coincida com a imagem termal; ii) A imagem termal é reamostrada para que o número de pixels seja o mesmo em ambas; e iii) Por fim é realizada uma fusão do par de imagens, gerando uma única imagem com quatro bandas (vermelho, verde, azul e termal).

O software fotogramétrico autônomo PhotoScan, desenvolvido pela Agisoft, utiliza então as bandas RGB de alta resolução para gerar um mosaico, não georreferenciado, das imagens obtidas com a câmera FLIR. Resumidamente, o software realiza, nessa sequência, o ajuste dos parâmetros de orientação exterior (ligados à trajetória do voo e movimentos da plataforma), a eliminação das distorções causadas pelos ângulos da câmera, a reconstrução do terreno a partir da intersecção dos pontos de nuvens definidos pelos pontos homólogos e a transformação da projeção central na imagem em projeção ortogonal, gerando o produto final (ortomosaico).

Esse mesmo processamento é realizado com as imagens advindas da câmera do Phantom 4, obtendo como resultado final um ortomosaico preciso da área estudada. Assim, este ortomosaico é considerado uma imagem de referência que auxiliar no registro e avaliação do mosaico de 4 bandas.

2.4 Avaliação do ortomosaico

A avaliação da exatidão posicional do ortomosaico gerado foi realizada por meio da PEC (Padrão de Exatidão Planimétrica), segundo a Lei nº 89.817/84, utilizando análises estatísticas de qualidade geométrica, como descrito em [2, 7, 8].

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A fusão do par de imagens gerou uma única imagem (Figura 4), no formato TIFF, com quatro bandas espectrais, de 1453x1080 pixels, que facilita a interpretação visual da imagem multiespectral através da composição colorida RGB e ao mesmo tempo não altera os valores radiométricos das bandas originais, preservando, assim, os dados termais brutos oriundos da imagem TIR.

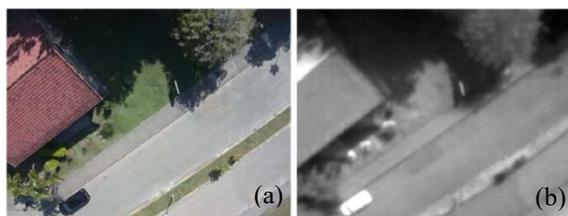


Figura 4. Imagem resultante da fusão, onde (a) é a composição das bandas 1, 2 e 3 em RGB e (b) a banda 4 (TIR) em ND.

O mosaico gerado a partir da rotina de processamento sugerida pelo software Agisoft PhotoScan, é apresentado na Figura 5 em suas diferentes composições. De modo geral, os objetos terrestres estão bem nítidos, apesar das distorções nas

bordas e em feições homogêneas, como o telhado dos prédios e as árvores.

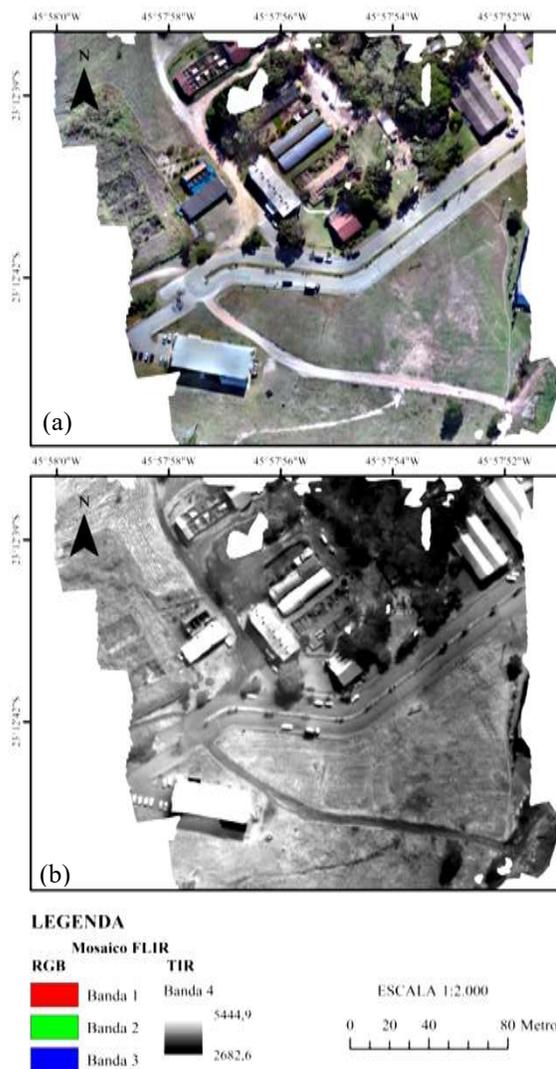


Figura 5. Ortomosaico gerado, onde (a) é a composição das bandas 1, 2 e 3 em RGB e (b) a banda 4 (TIR) em ND.

Para avaliar a precisão do ortomosaico gerado, foram selecionados na imagem de referência 20 pontos para a checagem dos erros posicionais (Figura 6).

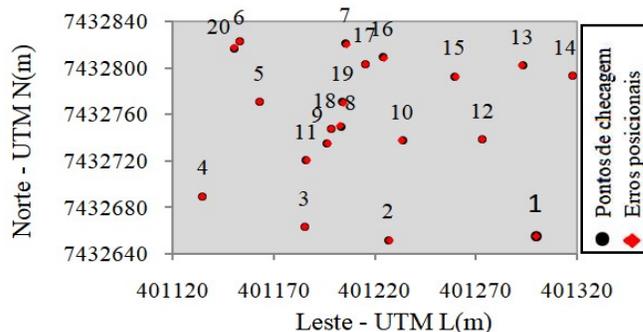


Figura 6. Localização dos pontos de checagem e dos erros posicionais.

Na Tabela 1 são apresentados os parâmetros estatísticos mais relevantes como a média, o desvio padrão e os valores máximos e mínimos dos erros nos sentidos Leste (ΔL), Norte (ΔN) e Planimétrico (ΔP) observados.

O erro circular CE90, calculado em função do RMSE (*Root-mean square error*), estipulou 90% de chance de um ponto do ortomosaico estar localizado dentro de um raio de aproximadamente 1,25 metros de sua posição original no terreno, sendo que este raio pode diminuir com a introdução de pontos de apoio no processamento das imagens.

Tabela 1. Parâmetros estatísticos das discrepâncias posicionais nos sentidos Leste, Norte e Planimétrico.

	ΔL	ΔN	ΔP
Média	-0,12200	0,03472	0,39482
Desvio Padrão	0,41120	0,22027	0,26543
 Máximo 	0,71571	0,39125	0,96236
 Mínimo 	0,88748	0,35308	0
RMSE		0,581974	
CE90		1,251243	

Posteriormente foi realizado o teste de Kolmogorov-Smirnov a fim de verificar a normalidade da amostra de erro planimétrico. Pressupondo a distribuição normal, efetuou-se o teste t-Student para verificar a existência de tendência na amostra de erros em alguma direção do ortomosaico (Tabela 2).

Tabela 2. Resultado das análises de normalidade e tendência.

Testes estatísticos	
Nível de significância	5%
Graus de liberdade	19
K_s tabelado	0,2940
T tabelado	1,3277
Amostra do erro planimétrico	
K_s calculado	0,1127
Distribuição normal?	Sim
t calculado	0,0704
Há tendência?	Não

Com os valores tabelados superiores àqueles calculados, aceita-se as hipóteses nulas a um nível de significância de 5%, isto é, conclui-se que a amostra apresenta distribuição normal e não é tendenciosa.

Por fim, foi utilizado o teste Qui-quadrado para avaliar a precisão posicional do ortomosaico no sentido planimétrico às escalas e classes pré-definidas, com base no estabelecido pelo PEC-PCD.

Tabela 3. Aplicação do teste Qui-quadrado de acordo com o estabelecido pela PEC-PCD.

	1:500	1:1.000	1:2.000	1:5.000	1:10.000
A	370,544	92,636	23,159	3,705	0,926
B	118,986	29,746	7,437	1,190	0,297
C	42,835	10,709	2,677	0,428	0,107
D	29,746	7,437	1,859	0,297	0,074

Os valores de χ^2 calculados, observados na Tabela 3, foram comparados estatisticamente com o valor tabelado de 30,1435. O resultado desta análise demonstra que o ortomosaico avaliado recebe a classe D na escala 1:500, classe B na escala 1:1.000 e classe A na escala 1:2.000 e inferiores.

5. CONCLUSÕES

A avaliação da qualidade posicional planimétrica apresenta resultados que indicam uma constância geométrica do ortomosaico gerado. Isto comprova que o uso de imagens visíveis, de alta resolução espacial, no processamento de imagens termais obtidas a bordo de VANT resolvem as limitações dos produtos oriundos das câmeras infravermelho termais disponíveis no mercado. Permitindo, assim, maior precisão nas medidas de temperatura cinética de qualquer alvo na superfície terrestre.

6. REFERÊNCIAS

- [1] Meneses, P. R.; Almeida, T. D., "Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto", CNPq, Brasília, 276, 2012.
- [2] Oliveira, L. T. D., "Avaliação do uso de sensor termal a bordo de VANT através de análises radiométricas, espectrais, espaciais e posicionais". *Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto)*, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2017.
- [3] Weber, I.; Jenal, A.; Kneer, C.; Bongartz, J., "PANTIR - a dual camera setup for precise georeferencing and mosaicing of thermal aerial images", *ISPRS - International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XL-3/W2 269-272, 2015.
- [4] Luz, C. C. D., "Avaliação da exatidão absoluta de ortofoto obtida por meio de dados brutos oriundos de veículos aéreos não tripulados (SISVANT)", *Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas)*, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015.
- [5] Kuenzer, C., Dech, S., "Thermal infrared remote sensing: sensors, methods, applications", Springer, 2013.
- [6] Bloss, R., "Multi-technology sensors are being developed for medical, manufacturing, personal health and other applications not previously possible with historic single-technology sensors", *Sensor Review*, Cleveland, 385-389, 2017.
- [7] Silva, C. A.; Duarte, C. R.; Souto, M. V.; Sabadia, J. A. B. "Utilização de VANT para geração de ortomosaicos e aplicação do padrão de exatidão cartográfica (PEC)", *SBSR - Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, XVII*, 1137-1144, 2015.
- [8] Elias, E. N. N.; Miranda, P. C. A.; Cunha, A. A.; Fernandes, V. O. "Aplicação do padrão de exatidão planimétrica para produtos cartográficos digitais (PEC-PCD)", *GEONORDESTE - Simpósio Regional de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto*, 248-252, 2017.