

Utilização de aeronaves remotamente pilotadas para extração de mosaico georreferenciado multiespectral e modelo digital de elevação de altíssima resolução espacial

ALEXANDRE MORENO RICHWIN FERREIRA¹
HENRIQUE LLACER ROIG¹
GIULIANO SANTANNA MAROTTA¹
PAULO HENRIQUE BRETANHA JUNKER MENEZES¹

¹Instituto de Geociências, Universidade de Brasília- UnB
Campus Darcy Ribeiro - Brasília - DF, Brasil
moreno.rferreira@gmail.com; roig@unb.br; marotta@unb.br; phjunker@unb.br;

Abstract. In the last decade the use of UAVs in the world increased considerably both for military and for civilian applications. This paper presents an overview of UAVs and discusses the use of small UAVs to carry out airborne. The paper describes the operation of a multicopter rotary wing vehicle and its applications in remote sensing using conventional digital cameras and converted digital cameras to extract high quality data. The methods used in the acquisition and processing of UAV imagery were described with special attention to critical points, such as the use of two different sensors and the compatibilization process of these data. At the end the results was a multispectral georeferenced orthomosaic with 0,01m of spatial resolution in all four bands and a digital elevation model with 0,06m of pixel resolution. From these results were processed one NDVI index and a semiautomatic procedure for features extraction. The main goal of this paper is to determine the quality of the data acquired and it's applications compared to conventional methods for acquire data.

Palavras-chave: image processing, Digital Elevation Model, UAV, photogrammetry, multispectral, processamento de imagens, ARP, Photoscan, fotogrametria, multiespectral.

1. Introdução

As geotecnologias estão sendo cada vez mais utilizadas nas tomadas de decisões em diversos níveis e escalas, desde a escolha para destinações de verbas para infraestrutura até a busca pelo melhor caminho para a casa de um amigo. As pessoas passaram a ter acesso a bases georreferenciadas e imagens de satélite pela internet e fazem cada vez mais uso delas no seu dia a dia, absorvendo as geotecnologias antes presentes apenas no setor de pesquisa e corporativo. Essa disseminação da geotecnologia gerou uma imensa demanda por mais dados, com maior qualidade, atualizações mais frequentes, resoluções maiores etc. Para atender essa demanda, surgem novas tecnologias e métodos que abrem portas para outras maneiras de estudar o mundo.

Uma dessas tecnologias que surgem é o uso de veículos aéreos não tripulados (VANT/DRONE) para imageamento de pequenas áreas com alta taxa de revisita e altíssima resolução espacial (Eisenbeiss, 2004; Esposito *et al.*, 2006; Nebiker *et al.*, 2008). Ainda são necessários estudos sobre segurança para a integração dessa categoria ao espaço aéreo, mas esse parece ser um caminho sem volta, pois muito já se progrediu no uso desses equipamentos (Nackaerts *et al.*, 2010; Turner *et al.*, 2011; Lucieer *et al.*, 2012). Enquanto a regulamentação não sai, os estudos estão voltados para as Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARP)

Nesse contexto, este trabalho apresenta os resultados e a metodologia utilizada no aerolevanteamento com uma Aeronave Remotamente Pilotada e o processamento das imagens de uma área de aproximadamente 1600 m². Foram realizados dois sobrevoos sobre a área utilizando a mesma rota e altura de voo, porém carregando diferentes sensores. Em seguida as imagens foram processadas para a obtenção de um mosaico ortorretificado e georreferenciado com quatro bandas cobrindo a faixa do visível e do infravermelho próximo do espectro eletromagnético, e também um Modelo Digital de Elevação (MDE). A partir desses dados, foram geradas análises de índice de vegetação (NDVI) e extração de feições semiautomática.

2. Etapas e Métodos

Os trabalhos desenvolvidos podem ser divididos em três etapas. Determinação da aeronave e câmeras, coleta de dados, e processamento das imagens.

2.1 Aeronave e Câmera

Para a realização deste trabalho optou-se por um VANT da categoria micro, de baixo custo e com código aberto. O modelo foi desenvolvido pela empresa alemã Mikrokopter, fundada em 2006 por dois engenheiros, e rapidamente ganhou uma grande comunidade de usuários e colaboradores (Mikrokopter, 2011).

Os sensores utilizados para a coleta das imagens foram de duas câmeras digitais convencionais com 12 megapixels acopladas individualmente a uma plataforma giro estabilizada. Uma delas é modificada e não possui o bloqueador de infravermelho e seu filtro original foi substituído para permitir que o sensor consiga detectar uma banda entre 670nm e 770nm, com pico em 700nm, uma fatia da faixa do infravermelho próxima do espectro eletromagnético.

2.2 Coleta dos dados

O bom planejamento da coleta dos dados é um passo fundamental para a obtenção de resultados com boa qualidade. Para a realização deste trabalho seguiu-se uma rotina de seis procedimentos (Figura 1) para cada voo, sendo eles: escolha da área, análise de segurança, planejamento do voo, preparação dos equipamentos, checagem dos equipamentos e coleta de dados.

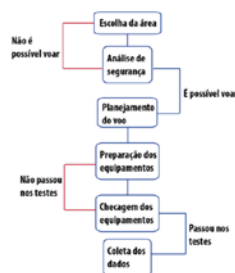


Figura 1. Rotina de planejamento.

A escolha da área deve ser feita levando em consideração as limitações que são inerentes ao uso de Aeronaves Remotamente Pilotadas, como teto operacional e tempo de

voo. Após a definição da área de estudo é necessário avaliar a possibilidade de realização da operação durante a etapa aqui chamada de análise de segurança.

Durante essa etapa é necessário avaliar diversos fatores para garantir o sucesso da operação mantendo a segurança de pessoas, equipamentos e bens materiais. O ideal é que inicialmente seja realizada uma visita ao local para identificação de possíveis problemas. Alguns fatores que devem ser levados em consideração na análise de segurança são: condições legais da operação, possíveis obstáculos como torres e linhas de transmissão, proximidade a aeroportos e aeródromos, limites de áreas urbanas, morfologia do terreno, condições de vento e locais para pouso e decolagem.

No processo de planejamento de voo define-se a resolução que as imagens terão e em função disso e dos sensores que serão utilizados define-se uma altura de voo e a rota. É necessário garantir um mínimo de 60% de sobreposição lateral e 70% de sobreposição longitudinal das imagens para possam ser processadas posteriormente.

Os voos foram realizados no dia 05/10/2012 com as operações iniciando às 15:05. Cada voo teve duração aproximada de 10 minutos. Os pontos de controle foram coletados utilizando um receptor GPS diferencial de alta precisão utilizando elementos da paisagem que seriam visíveis nas imagens para auxiliar na identificação.

Por motivos de segurança não havia ninguém na área sobrevoada e os proprietários dos terrenos e casas próximas estavam cientes e de acordo com a operação, garantindo o acesso dos pesquisadores ao local. A rota planejada para sobrevoar a área também visou garantir a segurança e o sucesso da operação, voando sempre a 45 metros acima do nível do solo com variações máximas de 2 metros para cima ou para baixo e nunca sobrevoando edificações. Durante todo o voo o operador manteve contato visual e de rádio com a aeronave e poderia interferir e assumir o comando a qualquer momento. Além disso, havia um sistema de telemetria enviando informações em tempo real sobre consumo de energia, condições da bateria e temperatura do equipamento durante o voo. Para aumentar ainda mais a segurança havia um membro da equipe encarregado de identificar possíveis aeronaves ou pássaros se aproximando.

2.3 Processamento dos dados

O processamento das imagens se dividiu em duas etapas. A primeira consistiu em ortorretificar, georreferenciar e mosaicar as imagens obtidas, e a segunda etapa, em ajustar as imagens dos dois voos, compondo assim todas as bandas em um único arquivo, do qual foi extraído o índice NDVI.

A primeira etapa do processamento foi realizada utilizando o *software* Photoscan Professional de fotogrametria, fabricado pela empresa russa Agisoft. A segunda etapa foi realizada no *software* ArcMap 10.0.1, fabricado pela empresa ESRI.

Como foram realizados dois voos para a coleta das imagens e dificilmente as imagens foram coletadas exatamente nos mesmos pontos, foram realizados dois processamentos separados para criação de dois mosaicos ortorretificados. Posteriormente os resultados foram

ajustados para que tivessem a mesma resolução espacial e um georreferenciamento coincidente.

Os sensores foram programados para capturar uma imagem a cada dois segundos durante o voo. Esse método garante que nenhuma região da área de estudo fique sem cobertura de imagem. Por outro lado, esse método gera um volume de imagens muito superior ao necessário para processamento e por isso é necessário selecionar manualmente as melhores imagens garantindo a sobreposição lateral e longitudinal sem sobrecarregar o processamento com dados praticamente duplicados.

Ao todo foram selecionadas 67 imagens de cada voo realizado para a geração do mosaico ortoretificado, com um total de 134 imagens coletadas e aprovadas. Em seguida, o horário de captura das imagens foi comparado com o registro de voo da aeronave para determinação das coordenadas X, Y e Z de cada imagem. Com essa informação é possível iniciar o alinhamento das imagens a partir da detecção automática de pontos de amarração. O *software* criou em média 35.000 pontos para cada imagem e comparou os pontos das imagens para realizar a aerotriangulação. O resultado dessa etapa é uma densa nuvem (Figura 2) de pontos com coordenadas X, Y, Z e o valor RGB escolhido a partir de uma das imagens na qual cada ponto aparece. Ao total foram utilizados 118.269 pontos de amarração válidos.

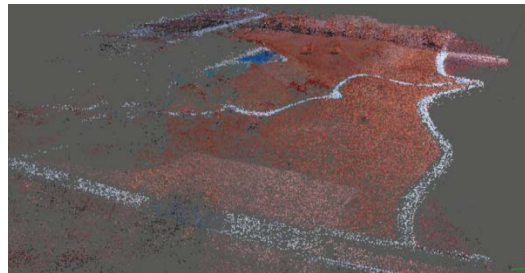


Figura 2. Nuvem de pontos com o valor dos canais RGB.

Como a posição das imagens é calculada com base no registro de voo da aeronave, e a mesma está equipada com um receptor GPS de navegação com erros de até 10 metros dependendo das condições e o local, foram utilizados pontos de controle para aumentar a acurácia dos resultados. Foram utilizados quatro pontos de controle na parte de maior interesse do mosaico e os mesmos foram identificados manualmente em cada imagem em que estavam presentes. A partir dessa informação foram calculadas estimativas de erro para as coordenadas X, Y e Z de cada imagem (Figura 3) e o erro médio geral (Tabela 1).

Tabela 1. Erro médio da posição das imagens.

Erro X (m)	Erro Y (m)	Erro Z (m)	Erro total (m)
7,520307	7,634296	7,809027	13,259653

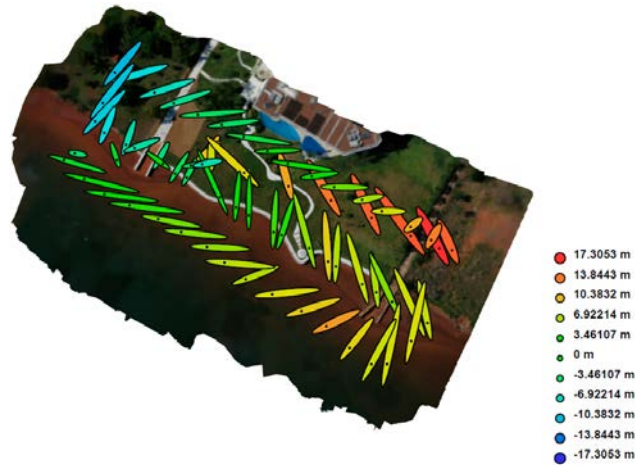


Figura3. Estimativa de erro posicional de cada imagem. As elipses mostram os erros nos eixos X e Y enquanto a cor representa os erros no eixo Z.

Para obtenção de bons resultados ao final do processo, é fundamental garantir um alto nível de sobreposição das imagens para toda a região imageada. Quanto maior for a sobreposição entre as imagens, mais densa será a nuvem de pontos, o que favorece a obtenção de mosaicos e modelos de superfície mais precisos. Na área de estudo deste trabalho, conseguiu-se manter sobreposição superior a nove imagens para toda a região central da área de estudo, havendo uma diminuição gradual de sobreposição no sentido das bordas da região (Figura4). Esse fator deve ser levado em consideração no momento do planejamento do voo para que toda a área de interesse esteja com um alto nível de sobreposição e as bordas possam ser eliminadas sem comprometer a informação da área de interesse..

Após realizar as etapas para ortorretificar e mosaicar as imagens, é possível extrair quatro produtos a partir do *software* Photoscan Professional: ortomosaico georreferenciado, Modelo Digital de Elevação (MDE), modelo tridimensional e nuvem de pontos. Para este trabalho foram gerados apenas o ortomosaico georreferenciado e o MDE, sendo que, como foram realizados dois processamentos separados para as imagens no visível e no infravermelho próximo, os produtos obtidos foram dois mosaicos e um MDE (Figura 5).

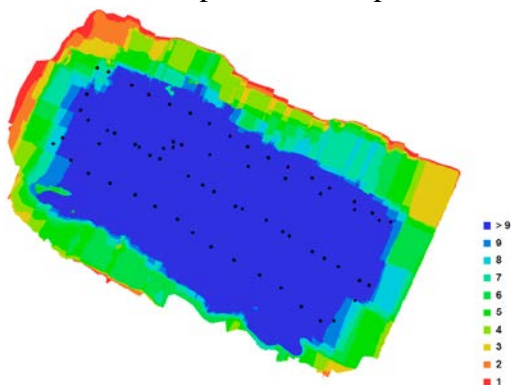


Figura 4. Posição das imagens coletadas e número de imagens sobrepostas

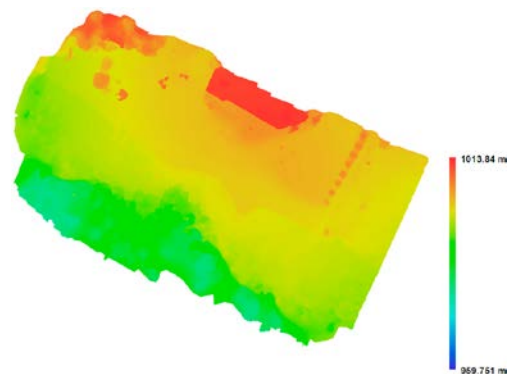


Figura 5. Modelo Digital de Elevação - MDE.

Na etapa seguinte os mosaicos foram ajustados para que coincidisse perfeitamente, possibilitando a criação de uma imagem com todas as bandas: R, G, B e NIR. Para isso o

mosaico da banda NIR foi georreferenciado novamente, usando o mosaico do espectro visível como referência. Com todas as bandas ajustadas, as mesmas foram reunidas em uma única imagem com quatro bandas (Figura6).

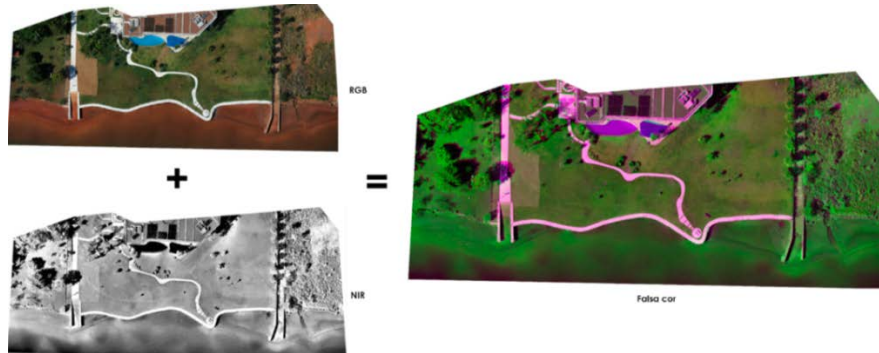


Figura 6. Composição de bandas R+G+B+NIR.

Após ter uma única imagem com quatro bandas, calculou-se o índice de vegetação NDVI (*NormalizedDifferenceVegetation Index*) utilizando as bandas do vermelho (R) e do infravermelho próximo (NIR) na fórmula: $NDVI = (NIR - R) / (NIR + R)$. Ao resultado aplicou-se uma escala de cores e ajuste de histograma para obter-se uma imagem (Figura7) representativa dos objetos presentes na cena.

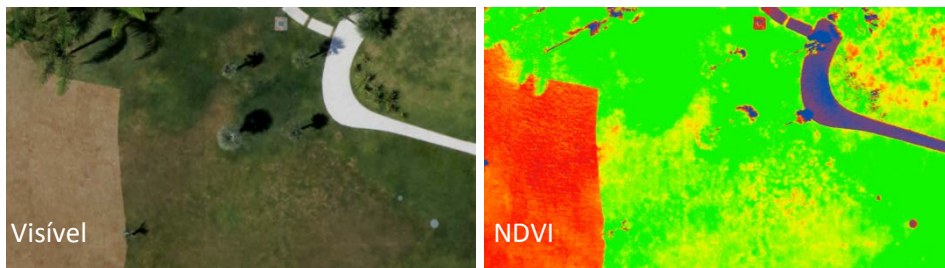


Figura 7. Detalhe NDVI.

Na etapa seguinte realizou-se uma extração de feições semiautomática, utilizando o software ENVI EX 4.8 com o fluxo de trabalho disponível para esse tipo de operação. O fluxo consiste em segmentar a imagem em classes, agrupar as classes semelhantes e em seguida definir as classes presentes na imagem por meio de amostras. Ao final do processo obteve-se um vetor com os polígonos de cada classe com os atributos classe, área e perímetro. Esse processo é muito útil na geração de dados para trabalhar em sistemas de informações geográficas (SIG) a partir de imagens de sensoriamento remoto.

3. Resultados

Todos os resultados obtidos apresentaram excelente qualidade, porém existem etapas da metodologia que podem ser melhoradas e outras incluídas para ajudar a corrigir alguns erros que foram verificados. Nesta parte do trabalho serão apresentadas algumas características dos produtos obtidos e algumas soluções para os problemas encontrados.

O mosaico obtido possui resolução espacial de 0,01 metro e não apresentou problemas de emenda de imagem. As linhas de corte ficaram praticamente invisíveis, com exceção de

algumas áreas em que nota-se uma diferença no ajuste de branco entre as imagens com objetos muito claros. Em alguns casos o algoritmo de ajuste do Photoscan Professional não foi capaz de corrigir as diferenças entre imagens, mas de maneira geral o *software* consegue criar uma imagem com ajuste contínuo e oferecer opções de mosaicagem para que o usuário possa encontrar a que melhor se encaixa para cada cena. Com a resolução obtida foi possível trabalhar em um monitor com resolução de 1920 por 1080 pixels, utilizando uma escala de 1:85 sem distorcer ou duplicar os pixels da imagem.

Como houve um intervalo de tempo entre a obtenção das imagens na faixa do visível e do infravermelho próximo, em algumas regiões da imagem verificou-se o surgimento do efeito *Parallax*. O efeito ocorreu principalmente nas sombras dos objetos, pois a posição das mesmas foi alterada no decorrer do dia, deixando sombras maiores nas imagens obtidas mais tarde. Pensou-se em duas maneiras para evitar o acontecimento desse efeito. A solução ideal seria montar os dois sensores na mesma plataforma e sincronizar a captura das imagens de ambos. Dessa maneira as imagens seriam capturadas no mesmo horário e, além disso, seria realizado apenas um voo. Caso esta não seja uma opção viável, já que depende das especificações técnicas de cada aeronave, é possível realizar a coleta dos dados em horários em que o sol está a pino, bem como reduzir a diferença de tempo entre os sobrevoos, diminuindo assim o deslocamento das sombras e consecutivamente o efeito *Parallax*.

O modelo digital de elevação (MDE) obtido possui 0,06 metro de resolução e representa em detalhes a superfície da área, permitindo calcular a profundidade de objetos pequenos como calhas no telhado com precisão similar à de técnicas com equipamentos a laser. Verificou-se que nas porções das imagens com água o MDE apresentou graves problemas devido ao desempenho fraco do algoritmo em superfícies reflexivas ou com pouca textura, como é o caso da água. Essa limitação já é prevista pelo fabricante do *software* (Agisoft, 2011), que sugere algumas formas para diminuir seus efeitos, como obter as imagens em dias nublados para diminuir os reflexos.

4. Conclusões

O uso de VANTs de pequeno porte para a realização de aerolevantamentos não substitui os atuais métodos que utilizam aviões tripulados e sensores de alto custo, porém preenchem uma lacuna deixada pelos métodos tradicionais. O baixo custo de operação dessas plataformas não tripuladas permite que sejam realizados aerolevantamentos em pequenas áreas, algo inviável para aviões tripulados, seja por motivos técnicos ou financeiros.

Os resultados apresentados apresentam qualidade tão boa quanto aqueles obtidos com métodos tradicionais e possibilitam novos estudos que antes não poderiam ser executados devido a algumas limitações destes métodos. Em termos de resolução espacial e temporal, essas tecnologias estabelecem novos padrões.

Pretende-se realizar estudos futuros para definir melhor a precisão dos resultados desses métodos como, por exemplo, o cálculo do Padrão de Exatidão Cartográfica – PEC. Outros estudos deverão incluir o uso da banda do infravermelho próximo para detecção de sedimentos, cálculo de profundidade de espelho d'água e aplicações na agricultura.

5. Agradecimentos

Ao programa de pós-graduação em Geociências Aplicadas do Ig/UnB pela Bolsa REUNI. À ESRI pela disponibilização do Pacote de ferramentas que compõem a Família ArcGIS 10 por intermédio do contrato Nº 2011 MLK 8733 e à IMAGEM pelo apoio e viabilidade da concretização do termo de uso entre o IG-UnB e a ESRI.

A empresa TerraSense por disponibilizar a aeronave e os sensores para coleta dos dados e também o *software* Photoscan Professional para processamento dos dados.

6. Referências

Agisoft, 2011. **Multi-view 3D reconstruction software**. Disponível em: <http://www.agisoft.ru>, acessado em 2011

Eisenbeiss, H., 2004. A mini unmanned aerial vehicle (UAV): system overview and image acquisition. **International Workshop on "Processing and visualization using highresolution imagery**, 18-20.

Everaerts, J., 2008, The use of UAVs for remote sensing and mapping, **The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, Beijing, China.

Furtado, V. H.; Gimene, R. A. V.; Camargo Júnior, J. B.; Almeida Júnior, J. R., 2008. Aspectos de segurança na integração de veículos aéreos não tripulados (VANT) no espaço aéreo brasileiro. **Anais do VII Simpósio de Transporte aéreo - Sitraer7**. 506-517 – Tr. 494.

Johnson, L., Herwitz, S., Dunagan, S., Lobitz, B., Sullivan, D., & Slye, R., 2003. Collection of Ultra High Spatial and Spectral Resolution Image Data over California Vineyards with a Small UAV. **Proceedings of the International Symposium on Remote Sensing of Environment**.

Kostrzewa, J., Meyer, W. H., Laband, S., Terre, W. A., Petrovich, P., Swanson, K., et al., 2003. An Infrared Microsensor Payload for Miniature Unmanned Aerial Vehicles. **Unattended Ground Sensor Technologies and Applications V**. Edited by Carapezza, Edward M. **Proceedings of the SPIE**, 5090, 265-274.

Lucieer, A.; Robinson, S.; Turner, D, Steve Harwin, and Kelcey, J.. 2012. Using a Micro-UAV for ultra-high resolution multi-sensor observations of Antarctic moss beds. **International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, Volume XXXIX-B1, 2012

Mikrokopter, 2011. **Projeto Wikipédia Mikrokoper**, disponível em: <http://www.mikrokopter.de/ucwiki/en/MikroKopter?action=show&redirect=FrontPage>, acesso em 2011

Pastor, E., Lopes, J. and Royo, P. UAV Payload and Mission Hardware/Software Architecture. **IEEE A&E Systems Magazine**. June 2007.

S. Nebiker, S.; Annen, A.; Scherrer, M.; Oesch, D. A Light-Weight Multispectral Sensor for micro UAV – Opportunities for very high resolution airborne remote sensing. **The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**. Vol. XXXVII. Part B1. Beijing, 2008.