



Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>



Uso de diferentes softwares de processamento de dados obtidos a partir de RPA (Aeronave Remotamente Pilotada)

Ana Paula Monteiro da Silva¹, Mariana Gabetto da Silva², Afonso de Paula dos Santos³, Lúgia da Silva Barbosa⁴, Marconi Martins Cunha⁵, Nilcilene das Graças Medeiros⁶, Daniel Camilo de Oliveira Duarte⁷

¹Aluna do curso de Engenharia de Agrimensura e Cartográfica. Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, Brasil. ana.p.monteiro@ufv.br ²Aluna do curso de Engenharia de Agrimensura e Cartográfica. Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, Brasil. mariana.gabetto@gmail.com ³Professor do Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, Brasil. Engenheiro Agrimensor (UFV). Mestre e Doutor em Engenharia Civil/Informações Espaciais (UFV). afonso.santos@ufv.br ⁴Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (Informações Espaciais), Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, Brasil. Engenheira Agrimensora e Cartógrafa (UFV). Mestre em Engenharia Civil/Informações Espaciais (UFV). ligia.barbosa@ufv.br ⁵Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (Informações Espaciais), Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, Brasil. Engenheiro Agrimensor e Cartógrafo (UFV). Mestre em Engenharia Civil/Informações Espaciais (UFV). marconi.cunha@ufv.br ⁶Professora do Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, Brasil. Engenheira Cartógrafa (UNESP). Mestre e Doutora em Ciências Cartográficas (UNESP). nilcilene.medeiros@ufv.br ⁷Professor do Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, Brasil. Engenheiro Agrimensor e Cartógrafo (UFV). Mestre e Doutor em Engenharia Civil/Informações Espaciais (UFV). daniel.duarte@ufv.br

Artigo recebido 24/12/2023 em e aceito em 06/03/2024

RESUMO

Esse estudo visou o uso de diferentes softwares de processamento de dados, em ortofotos obtidos por RPA, para a aplicação dos procedimentos contidos na ET-CQDG e no Decreto nº 89.817 de avaliação da qualidade posicional. Os softwares escolhidos para análise foram o Mappa, DroneDeploy e Agisoft Metashape. Os resultados encontrados colaboraram para o entendimento do tipo de produto gerado por cada software, bem como análise da qualidade fornecida via aspectos visuais e aplicação das normas e decretos. O software Agisoft Metashape foi classificado, tanto na planimetria quanto na altimetria, na classe “Classe A” no PEC-PCD, acurado para a escala de 1:2.000 e curvas de nível de 1 metro. Já o software DroneDeploy obteve-se a classe B para escala 1:5000 e curvas de nível de 50 metros no PEC-PCD, porém não acurado tanto para planimetria quanto altimetria. Já o software Mappa o produto ficou abaixo do esperado, portanto não classificado na PEC-PCD. A partir destes resultados pode-se avaliar qual tipo de produto foi gerado, sua qualidade e tipo de serviço possível de uso.

Palavras-Chave: Aeronave Remotamente Pilotada. Software de Processamento Fotogramétrico. Qualidade Posicional.

Use of different software to process data obtained from RPA (Remotely Piloted Aircraft)

ABSTRACT

This study looked at the use of different data processing software for orthophotos taken by RPA, in order to apply the procedures contained in the ET-CQDG and Decree 89.817 for assessing positional quality. The software chosen for analysis was Mappa, DroneDeploy and Agisoft Metashape. The results found contributed to an understanding of the type of product generated by each software, as well as an analysis of the quality provided via visual aspects and the application of standards and decrees. The Agisoft Metashape software was classified, both in terms of planimetry and altimetry, in the "Class A" class in the PEC-PCD, accurate for the scale of 1:2,000 and contour lines of 1 meter. The DroneDeploy software obtained class B for the 1:5000 scale and 50-meter contour lines in the PEC-PCD, but it was not accurate for both planimetry and altimetry. As for the Mappa software, the product was lower than expected and therefore not classified in the PEC-PCD. Based on these results, it is possible to assess the type of product generated, its quality and the type of service it can be used for.

Keywords: Remotely Piloted Aircraft. Photogrammetric Processing Software. Positional Quality.

Introdução

Atualmente as Aeronaves Remotamente Pilotadas (Remotely Piloted Aircraft – RPA), popularmente conhecidos como DRONES ou VANTS, podem ser utilizadas para uso recreativo, agrícola, monitoramento ambiental, militar, cinema, vídeos e fotos, segurança pública, gestão de desastres, mapeamento cartográfico, entre outras (Nunes et al., 2020). A partir da globalização desses RPA, surgiram uma enorme variedade de softwares de processamento de dados, bem como regras de acesso e uso do espaço aéreo por estes equipamentos. Essas regras são de responsabilidade da Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) em conjunto com o Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA). Seu uso, associado a sensores imageadores e/ou Sistema Global de Navegação por Satélite (GNSS), bem como à aplicação de técnicas de Fotogrametria e Sensoriamento Remoto, possibilita a geração produtos como Ortomosaicos e Modelos Digitais (Hung et al., 2018).

Um dos algoritmos de modelagem tridimensional mais importantes na aerofotogrametria moderna, o Structure from Motion (SfM), é utilizado como base de praticamente todos os softwares de processamento, e funciona com duas premissas: a primeira é que a intensidade de pixels deve existir para que uma geometria possa ser bem identificada, e a segunda está relacionada à mudança na posição das feições em diferentes cenas, que deve ser mínima, para que o software seja capaz de detectar pontos homólogos em imagens (Franco e Naime, 2014).

Ainda, segundo Colomina e Molina (2014), é empregado modelos de ajustamento para determinação das coordenadas no espaço objeto. Como produto desse processo, tem-se uma esparsa nuvem de pontos, sendo possível gerar os Modelos Digitais de Elevação (MDE).

Os produtos cartográficos elaborados a partir de RPA, todavia, estão sujeitos a incertezas altimétricas e planimétricas provenientes do processo de aquisição dos dados. Dessa forma, é

fundamental que as mesmas sejam avaliadas e confrontadas a parâmetros de qualidade a fim de serem determinadas as potencialidades e confiabilidades dessas plataformas na geração de produtos cartográficos (Alves e Batista, 2020).

No Brasil, a análise da qualidade posicional, é realizada por meio de parâmetros para avaliação de acurácia posicional, e é baseada no Decreto nº 89.817 de 1984, podendo ser associado à Especificação Técnica para Controle de Qualidade de Dados Geoespaciais (ET-CQDG) de 2016, disponibilizada por intermédio da Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE).

Nesse sentido, a escolha de softwares adequados para o processamento dos dados gerados por RPA tem cada vez mais destaque entre os usuários desta tecnologia. No entanto, os estudos científicos sobre o tema ainda são poucos, existindo assim uma necessidade do mesmo, devido às constantes inovações, melhorias e atualizações dos softwares. Sendo assim, isso ajudará a saber quais requisitos são necessários para utilização dos mesmos, e como isso impacta em seu tempo de processamento e qualidade final.

Dessa forma, o objetivo geral deste trabalho é comparar a eficiência dos softwares de processamento fotogramétricos para geração de produtos cartográficos, por meio do Decreto 89.817 / ET-CQDG. Especificamente, objetiva-se a partir de um mesmo conjunto de fotos obtidas por RPA, e pontos de controle coletados com GNSS, gerar produtos cartográficos nos softwares DroneDeploy, Agisoft Metashape e Mappa e avaliar a acurácia posicional dos produtos obtidos, com pontos de checagem coletados com GNSS, a partir do padrão estabelecido no padrão Decreto 89.817 / ET-CQDG.

Busca-se então com esse estudo evidenciar a importância do controle de qualidade como um processo, visto que esse é essencial para todas as etapas de elaboração de um produto cartográfico.

RPA e o processamento de dados fotogramétricos

Segundo a Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) em conjunto com o Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), o Sistema de Aeronave Remotamente Pilotada (Remotely Piloted Aircraft System - RPAS) refere-se ao conjunto da aeronave remotamente pilotada (RPA), sua(s) estação(s) remota(s) de pilotagem, o link de

comando e controle e qualquer outro componente especificado em seu projeto de construção (DECEA, 2020; ANAC, 2021).

Atualmente, normas de operação para os RPA foram propostas por órgãos do governo federal com a finalidade de controlar os voos,

devido aos possíveis problemas causados pelos mesmos, como por exemplo, se chocar com outras aeronaves. A Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL) é responsável pela homologação do rádio controle do RPA, já a Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) é a responsável por definir as regras de utilização, normas e padrões das aeronaves. E por fim, o Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), é o órgão do Ministério da Defesa responsável por analisar as solicitações de utilização do espaço aéreo, liberá-lo e informá-lo sobre os levantamentos aéreos.

Existem no mercado, diferentes tipos de aeronaves e diferentes tecnologias, apresentando vantagens e desvantagens de acordo com o que se deseja. Dentre os tipos pode-se listar as aeronaves de asa-fixa, que consistem em um equipamento com asas similares às dos aviões, em que é possível obter maior sustentação com um gasto menor de energia; as aeronaves multirotor, que apresentam uma série de motores e são mais fáceis de pilotar tanto para humanos, quanto para pilotos automáticos, e por fim as aeronaves híbridas, que não precisam de uma pista, catapulta ou paraquedas, o risco de danos aos sensores a bordo e outros componentes (Medeiros Neto, 2016).

Os sensores acoplados nessas aeronaves levam em consideração os vários tipos de aquisição de dados, como as câmeras RGB, câmeras multiespectrais, câmeras hiper espectral, câmeras termais e o Light Detection and Ranging (LIDAR) (Martins, 2022).

Como exemplo de produto obtido com maior facilidade e agilidade, tem-se os Modelos Digitais do Terreno (MDT). Uma vez realizado o voo e coletado pontos de controle, os quais podem ser realizados por apenas um profissional, efetua-se o processamento fotogramétrico obtendo-se uma nuvem de pontos que é interpolada gerando o MDT. Tal processo é realizado em um intervalo de tempo menor que o processo de aquisição de pontos para criação de MDT por topografia clássica.

Dos avanços tecnológicos realizados através dos anos, o Structure from Motion (SFM) pode ser considerado um divisor de águas para a programação de softwares fotogramétricos para levantamentos com RPA. O SFM nada mais é que um conjunto de algoritmos que funcionam segundo Franco e Naime (2021) a partir duas premissas: existir uma mudança mínima na posição das feições em diferentes cenas e possuir intensidade

de pixel para que assim uma geometria possa ser bem identificada.

Um dos algoritmos utilizados pelo STM é o Scale Invariant Feature Transform (SITF), o qual Lowe (2004) cita que é composto por 4 estágios. O primeiro detecta a escala do espaço das cenas, seguido da localização dos Keypoints para a correspondência. Isso permite a atribuição das orientações das cenas. No terceiro e quarto estágio, é realizada a medição dos dados de iluminação e descrição dos pontos – Keypoints descriptors. Resumidamente, tal processo seria a procura pelos melhores pontos homólogos em fotos diferentes resultando em uma nuvem de pontos esparsa e tridimensional obtida pelo Bundle Adjustment (Westoby et al., 2012). Outro algoritmo é o Multi-View Stereo (MVS), que realiza a densificação da nuvem esparsa. Para que seja possível esse procedimento, é importante atentar-se para a sobreposição das fotos.

É esperado de um aerolevantamento com RPA obtenção de imagens georreferenciadas, com coordenadas geográficas tridimensionais. No entanto, a quantidade de ortofotos é relativamente grande o que gera a necessidade de vários voos a depender da área a ser levantada. Após processamento das imagens em softwares fotogramétricos, é possível gerar nuvem de pontos, os modelos digitais e ortomosaicos, por exemplo.

A nuvem de pontos é um conjunto de pontos distribuídos no espaço em um mesmo sistema de coordenadas. São obtidos em fotogrametria a partir de pontos homólogos de no mínimo duas ortofotos, obtendo-se diversas informações como profundidade, elevação, geometria e localização, além da possibilidade de recriar áreas e estruturas. Em relação à sua densidade, podem ser densas ou esparsas, onde a distância entre os pontos pode ser de milímetro até centímetros. Sendo assim, o ortomosaico refere-se à todas as ortofotos em uma única imagem 2D.

Decreto N° 89.817 / ET-CQDG

Por meio da ET-CQDG, é realizada a avaliação da qualidade posicional dos dados espaciais, associada à Especificação Técnica de Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-ADGV) e Especificação Técnica de Estruturação de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-EDGV), como norma complementar, evidenciando-se a suma importância às tolerâncias relacionadas no Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC), descritos no Decreto nº 89.817 de 1984 (Brasil, 1984).

O Padrão de Exatidão Cartográfica para Produtos Cartográficos Digitais (PEC-PCD), trata-se de uma classe mais restritiva destinada a produtos cartográficos digitais e relaciona-se com

a ET-CQDG, visando complementar e auxiliar a determinação da qualidade posicional, conforme a Tabela 1.

Tabela 1. Padrão de Exatidão Cartográfica Planimétrica e Altimétrica

Classe PEC	Classe PEC-PCD	Altimetria		Planimetria	
		PEC	EP	PEC	EP
-	A	0,27 ev	1/6 ev	0,28 mm x escala	0,17 mm x escala
A	B	1/2 ev	1/3 ev	0,50 mm x escala	0,30 mm x escala
B	C	3/5 ev	2/5 ev	0,80 mm x escala	0,50 mm x escala
C	D	3/4 ev	1/2 ev	1,00 mm x escala	0,60 mm x escala

Fonte: Adaptada do Decreto nº 89.817 e ET-CQDG (Brasil, 1984; DSG, 2016a).

Assim, para que um produto cartográfico seja classificado segundo o padrão de acurácia posicional do Decreto nº 89.817/ET-CQDG é necessário que atenda a duas condições (Brasil, 1984; DSG, 2016a):

- Noventa por cento (90%) dos pontos testados devem apresentar valores de discrepâncias (Equação 1 para planimetria, Equação 2 para altimetria) iguais ou inferiores ao valor do PEC-PCD em relação à escala e a classe testada;
- A raiz do valor quadrático médio (RMS - Root Mean Square) da amostra de discrepâncias posicionais (Equação 3) deve ser igual ou inferior à tolerância Erro Padrão (EP) definido pela norma, para a escala e classe testada.

Onde:

$$d_{ip} = \sqrt{(X_{test} - X_{ref})^2 + (Y_{test} - Y_{ref})^2} \quad (1)$$

$$d_{ia} = \sqrt{(X_{test} - X_{ref})^2 + (Y_{test} - Y_{ref})^2 + (Z_{test} - Z_{ref})^2} \quad (2)$$

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum d_i^2}{n-1}} \quad (3)$$

Sendo:

ev: equidistância vertical entre curvas de nível;

dip: discrepância posicional planimétrica da feição i;

dia: discrepância posicional altimétrica da feição i;

n: número de feições de checagem;

Xtest, Ytest, Ztest: Coordenadas de teste; e

Xref, Yref, Zref: Coordenadas de referência.

Material e métodos

Área de estudo

A área de estudo, com aproximadamente 1,89 km² (Figura 1), compreende parte do campus de Viçosa da Universidade Federal de Viçosa, localizada no município de Viçosa, no estado de Minas Gerais.

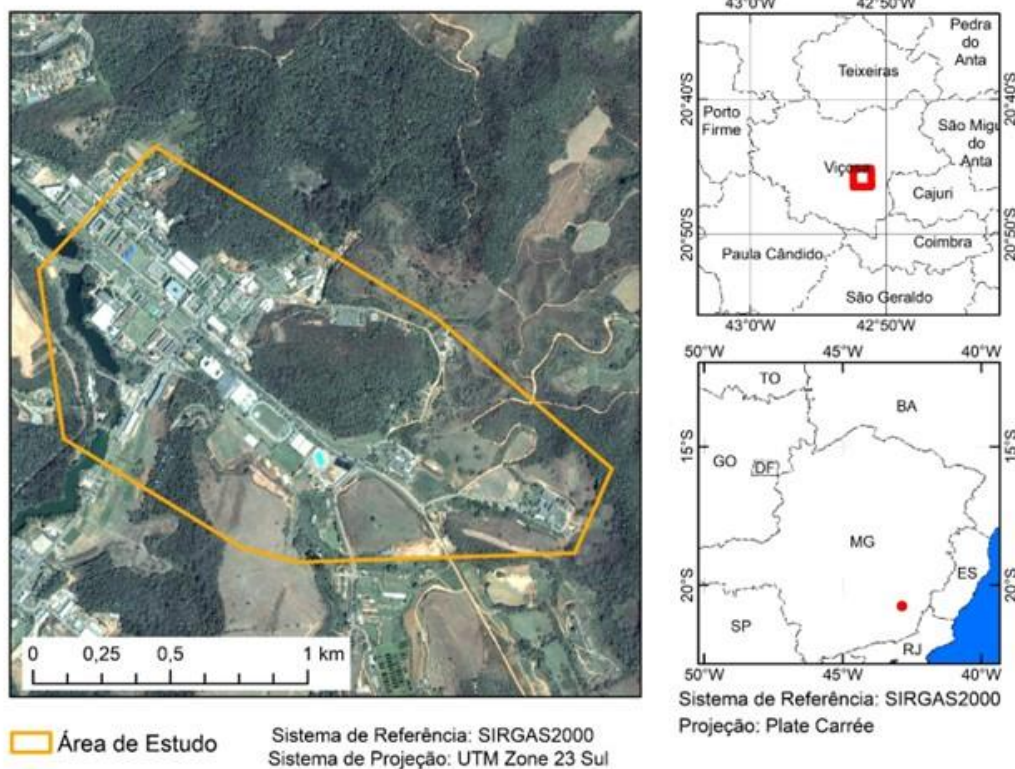


Figura 1. Área de estudo

Materiais

Neste estudo foram utilizados os seguintes materiais:

- RPA da fabricante Nuvem UAV, modelo Espectral (Figura 2), Registro ANAC PP-000000274, com uma câmera RGB NVM 24mp e uma lente de 16mm. O equipamento possui capacidade de voo de aproximadamente 60 minutos e com alcance de até 6 km conforme especificações do fabricante;



Figura 2. RPA Nuvem UAV Spectral

- Receptores GNSS Topcon Hiper+ e Javad Triumph 1 para levantamento dos pontos de controle e de checagem;
- Softwares fotogramétricos para processamento de produtos obtidos pelos RPA: DroneDeploy, Metashape e Mappa;
- Sistema de Informações Geográficas (SIG) livre QGIS; e
- Software GeoPEC.

Metodologia

O primeiro passo realizado foi definir a área de estudo a ser analisada. Como mencionado, foi escolhido o campus da Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa-MG. Este estudo utilizou um aerolevanteamento por RPA, realizado em 2021 e disponibilizado pela Empresa Júnior de Engenharia de Agrimensura e Cartográfica (EJEAG), desta área.

Apesar de abranger toda a extensão da UFV, nesta pesquisa foi utilizado somente uma parte dessa área. Sendo assim, foi necessário selecionar as linhas de voo que compreendiam a área de interesse. A Figura 3 representa todas as linhas de voo, com destaque para as linhas 5, 6, 7 e 8, utilizadas neste trabalho.

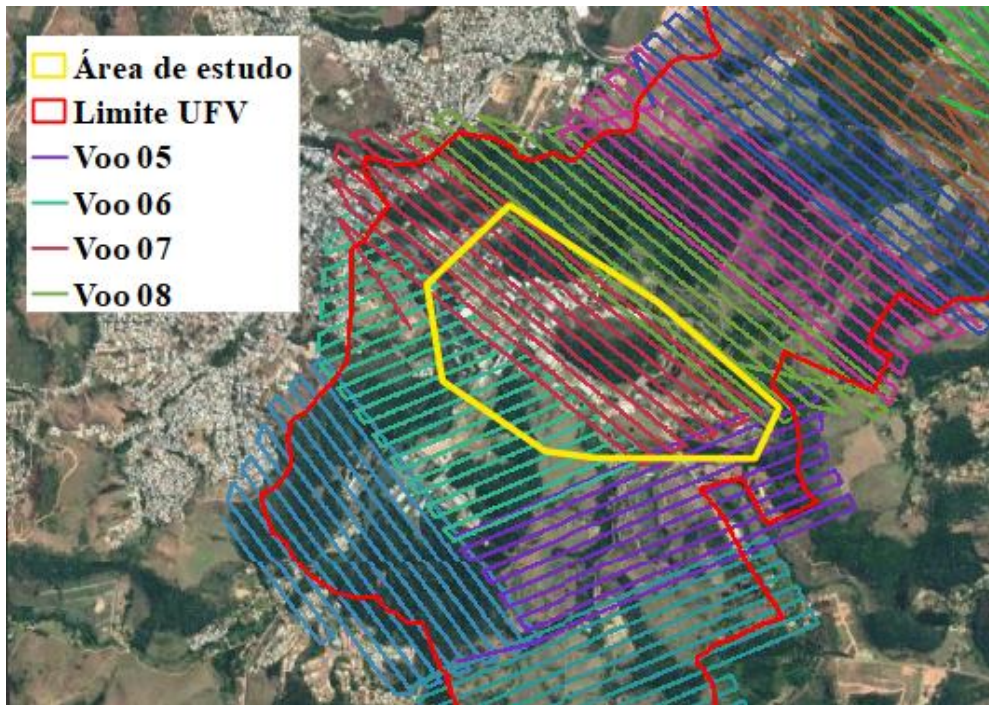


Figura 3. Linhas de voo utilizadas

Da mesma forma, o levantamento de pontos de controle e de checagem abrangia toda a UFV, sendo necessário realizar um recorte para que

estes compreendessem somente a região de interesse (Figura 4).

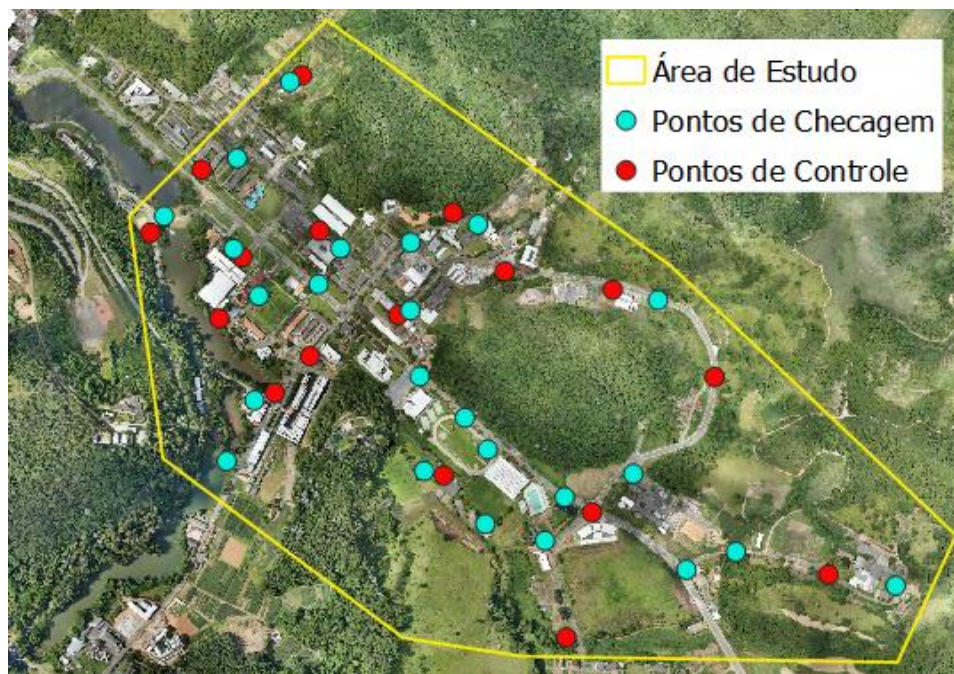


Figura 4. Pontos de controle e checagem na área de estudo

Após esta seleção, havia na área de estudo 1034 fotografias aéreas, 19 pontos de controle e 24 pontos de checagem. Após esta preparação inicial

dos dados, pode-se iniciar os processamentos com softwares analisados.

Processamento no software DroneDeploy

No DroneDeploy, o processamento é em nuvem. Portanto, não são apresentados os parâmetros utilizados no processamento. Neste software, foram realizadas as seguintes etapas:

1. Criação de modelo de plano de voo genérico;
2. Upload das fotografias em formato jpeg. Como se trata de um procedimento online, a velocidade de processamento depende da internet do usuário. Um ponto importante é que, caso haja perda de conexão da internet, o upload deve ser retomado a partir do último arquivo inserido, pois a plataforma salva o progresso de carregamento; e
3. Entrada de pontos de controle. Entretanto, esta etapa só é possível na versão paga do software por meios de planos mensais e anuais, no formato lite e individual. Esta é uma desvantagem desse software.

Processamento no software Mappa

No software Mappa o processamento também é realizado em nuvem. Como no caso anterior, não são apresentados os parâmetros utilizados no processamento. Neste software, foram realizadas as seguintes etapas:

1. Seleção do tipo de câmera - tipo de sensor da câmera utilizado: RGB ou multiespectral. Cabe destacar que cada sensor fornece diferentes resultados;
2. Seleção do tipo de processamento - no sensor multiespectral, somente o processamento agrícola estará disponível. Já para o sensor RGB é preciso escolher dentre algumas opções:
 - Padrão, onde são gerados: Ortomosaico, Modelo Digital de Terreno, Modelo Digital de Superfície, Curvas de nível, nuvem de pontos e modelo 3D;
 - Agrícola, onde são gerados: Ortomosaico, Modelo Digital de Terreno, Modelo Digital de Superfície, Curvas de nível, nuvem de pontos, modelo 3D e os índices VARI e IFV;
 - Topográfico, melhor precisão altimétrica e são gerados: Ortomosaico, Modelo Digital de Terreno, Modelo Digital de Superfície, Curvas de nível, nuvem de pontos e modelo 3D; e
 - Silvicultura, onde são gerados: Ortomosaico, Modelo Digital de Terreno, Modelo Digital de Superfície, Curvas de nível, nuvem de pontos, modelo 3D e os índices VARI e IFV.
3. Log de voo - identificar a etiquetagem geográfica das imagens do RPA, os quais podem ser:

- Fotografias georreferenciadas, quando já possuem as coordenadas geográficas inseridas nas propriedades das suas imagens;
 - Log de voo Horus, se voar com RPA da Horus Aeronaves;
 - Log de voo Horus com RTK/PPK. Para RPA que utilizam a tecnologia RTK/PPK deve ser inserido um arquivo .txt com as coordenadas geográficas.
4. Entrada dos dados de pontos de controle, que deve ser do tipo .txt com as coordenadas em UTM (Fuso, Leste, Norte e Altitude); e
 5. Upload das fotografias. Como se trata de um procedimento online, a velocidade de processamento depende da internet do usuário. Um ponto importante é que, caso haja perda de conexão da internet, o upload deve ser retomado a partir do último arquivo inserido, pois a plataforma salva o progresso de carregamento.

Processamento no software Agisoft Metashape

Diferente dos casos anteriores, o software Agisoft Metashape é do tipo desktop, permitindo o controle dos parâmetros pelo usuário durante o processamento. Neste software, foram realizadas as seguintes etapas:

1. Carregamento das fotografias. Nesta etapa ocorre o alinhamento por meio de fototriangulação; processo que gera os tie points;
2. Identificação dos pontos de controle;
3. Densificação da nuvem de pontos;
4. Obtenção do MDS. O MDS é obtido a partir da nuvem densa de pontos. As curvas de nível podem ser extraídas do MDS ou do MDE; e
5. Geração do ortomosaico.

Neste estudo, os parâmetros utilizados para o alinhamento das fotografias foi padrão “high”. Por falta de recurso computacional, só foi possível obter a nuvem de pontos densa no padrão “medium”.

Avaliação da acurácia posicional

A última etapa da metodologia foi avaliar a qualidade posicional planimétrica e altimétrica dos ortomosaicos e MDS gerados. Para isso, foi utilizada a metodologia proposta por Santos et al. (2016a) com auxílio do software GeoPEC.

Nesta metodologia, antes da obtenção das discrepâncias posicionais, é necessário determinar o número de pontos de checagem a serem utilizados na avaliação. Isto pode ser realizado utilizando a metodologia recomendada pela ET-CQDG. Em resumo, a ET-CQDG determina que a

área de estudo deva ser dividida em células de 4x4 cm na escala de avaliação. A partir das células válidas, que são as células que possuem pelo menos um ponto bem identificável tanto na imagem quanto no terreno, a obtenção do tamanho amostral é realizada por meio das tabelas da norma ISO 2859-2.

Em seguida, deve-se avaliar o padrão de distribuição espacial dos pontos amostrais. O software GeoPEC tem implementado o método do Vizinho Mais Próximo para esta avaliação. Recomenda-se que a amostra deva possuir padrão aleatório ou disperso. Caso isso não ocorra, nova amostra deve ser selecionada e o processo deve ser refeito.

Definido o tamanho da amostra e sua distribuição espacial, foram obtidas as discrepâncias posicionais altimétricas e planimétricas, conforme as Equações 2 e 3, respectivamente. Seguindo a metodologia de Santos et al. (2016a), sobre este conjunto de discrepâncias deve ser aplicado um teste de detecção de outliers. Neste trabalho foi utilizado o teste 3σ , como sugerem Nero (2005) e Santos et al. (2016b).

Por fim, as últimas etapas envolvem as análises de precisão e de tendência. Para a análise

de precisão, tanto para planimetria quanto para altimetria, devem ser atendidos os dois critérios apresentados na seção sobre o Decreto N° 89.817 e a ET-CQDG. Já para a análise de tendência, podem ser utilizados o Teste t de Student ou método da Média Direcional/Variância Circular, ambos implementados no GeoPEC.

Se o produto cartográfico avaliado (ortomosaico ou MDS) não apresentar tendência e for aprovado na análise precisão, considera-se acurado posicionalmente (Santos et al., 2016a). Caso contrário, o produto não é acurado, mas pode servir para outras aplicações.

Resultados e discussão

A primeira análise realizada nos produtos cartográficos gerados foi a inspeção visual. Neste quesito, os softwares Metashape e DroneDeploy apresentaram bons resultados na geração dos ortomosaicos. Entretanto, o mesmo não ocorreu com o Mappa, cujo ortomosaico apresentou significativa distorção dos elementos representados, como pode ser observado na Figura 5, que inclui um destaque.



Figura 5. Detalhe do ortomosaico resultante do processamento no software Mappa

Na inspeção visual dos MDS, os modelos para o Metashape e DroneDeploy apresentaram resultados parecidos (Figuras 6a e 6b, respectivamente). Entretanto, o MDS gerado pelo

software Mappa (Figura 6c) apresentou significativa diferença. Pelo conhecimento da topografia da área de estudo, este modelo não representa a realidade da superfície terrestre.

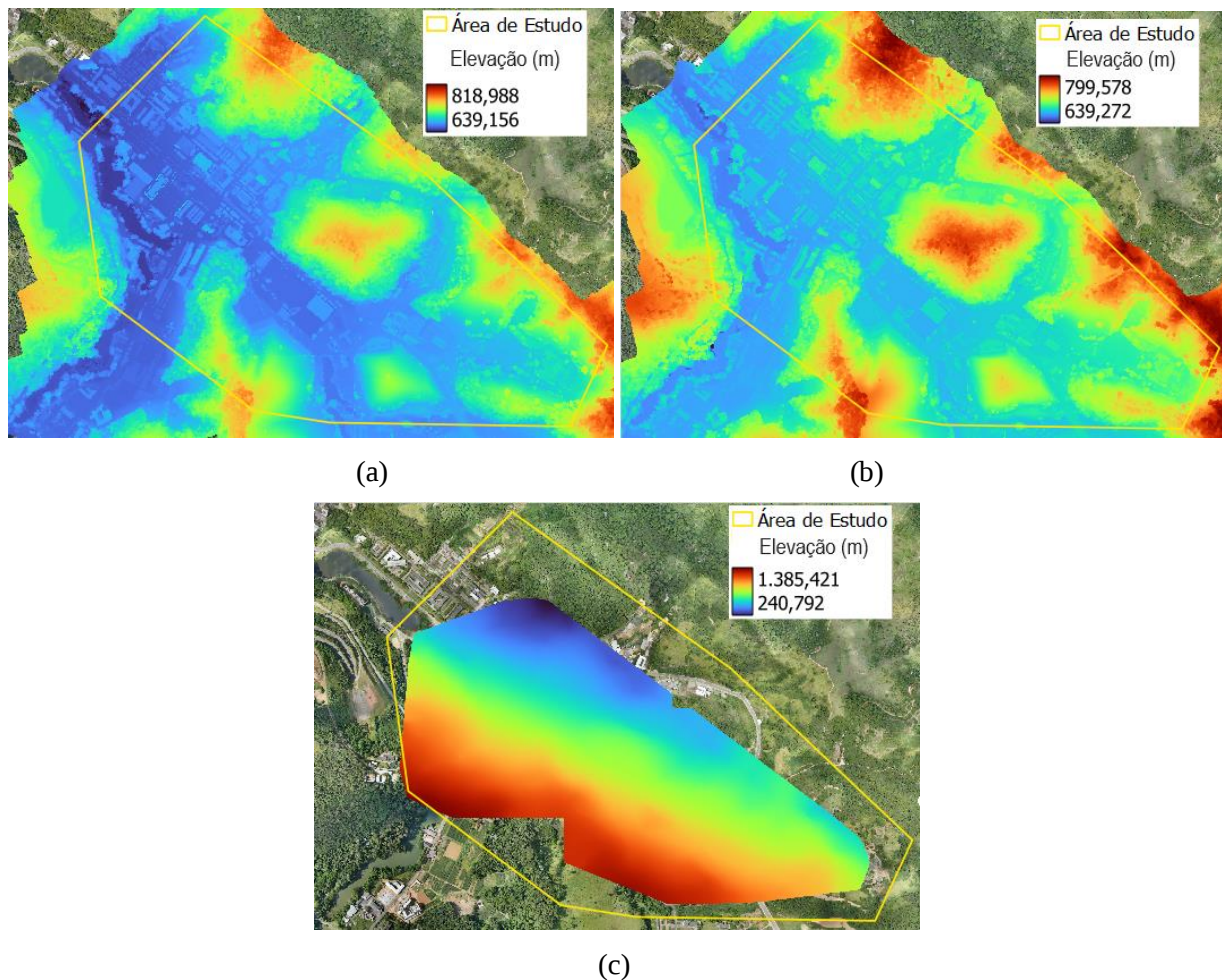


Figura 6. Modelos Digitais de Superfície (MDS): (a) Metashape; (b) DroneDeploy; e (c) Mappa

Após a análise visual, foi realizada a avaliação da acurácia posicional, para verificação de adequação dos produtos gerados perante o Decreto nº 89.817/ET-CQDG. Este procedimento só foi realizado para os ortomosaicos e MDS provenientes dos softwares Metashape e DroneDeploy. Isso porque nos produtos Mappa não foi possível identificar os pontos de checagem (devido aos ruídos do ortomosaico) e o mesmos não abrangiam toda a área de estudo.

A primeira etapa realizada foi a determinação do tamanho da amostra. Para a área de estudo em questão, com aproximadamente 1,89 km², seguindo a metodologia definida pela ET-CQDG, foi obtido um tamanho amostral mínimo de

20 pontos. Entretanto, como já se dispunha de 24 pontos (Figura 4) levantados com GNSS nesta região, todos foram utilizados nesta avaliação.

Em seguida, foi verificado o padrão de distribuição espacial desta amostra. Este conjunto de pontos apresentou o padrão aleatório até a terceira ordem, segundo o método do Vizinho Mais Próximo. Desta forma, esta amostra estava apta para ser utilizada na obtenção das discrepâncias posicionais. Estas discrepâncias, tanto planimétricas (2D) quanto altimétricas (H), estão representadas na Figura 7, para os produtos gerados no software Metashape. A Tabela 2 apresenta as estatísticas descritivas destas discrepâncias.

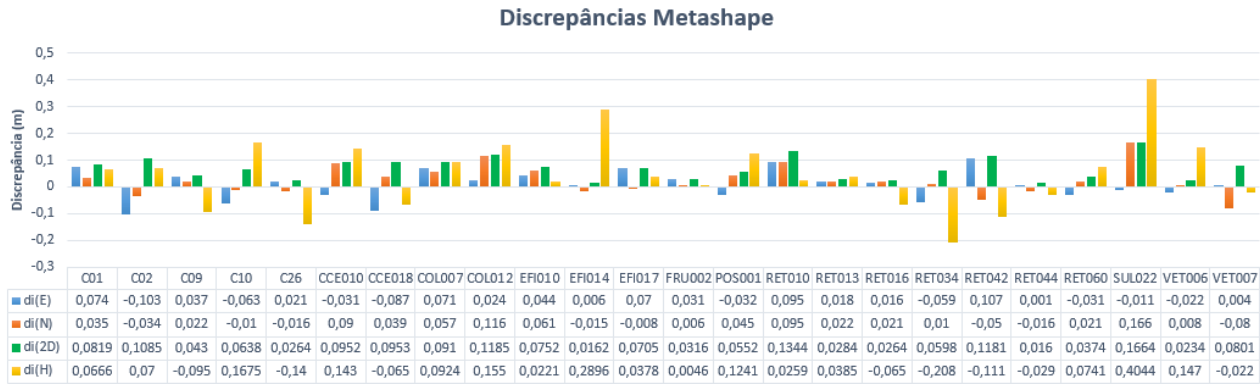


Figura 7. Discrepâncias do ortomosaico obtido com o software Metashape

Tabela 2. Estatísticas descritivas das discrepâncias posicionais do ortomosaico – Metashape

	Este	Norte	Altimetria (H)	Planimetria (2D)
Pontos	24	24	24	24
Média (m)	0,0075	0,0244	0,0470	0,0693
Desvio-padrão (m)	0,0550	0,0546	0,1360	0,0409
RMS (m)	0,0544	0,0588	0,1412	0,0801
Máximo (m)	0,1070	0,1660	0,4044	0,1664
Mínimo (m)	-0,1030	-0,0800	-0,2080	0,0160

Para estes valores, tanto para a planimetria quanto para a altimetria, utilizando o teste 3σ , não foi identificado nenhum outlier. Com relação a análise de tendência, o Teste t de Student indicou a presença de efeito sistemático no ortomosaico.

Entretanto, a Média Direcional e a Variância Circular não indicaram a presença de tendência. A Figura 8 apresenta uma representação das discrepâncias posicionais planimétricas para o ortomosaico Metashape.

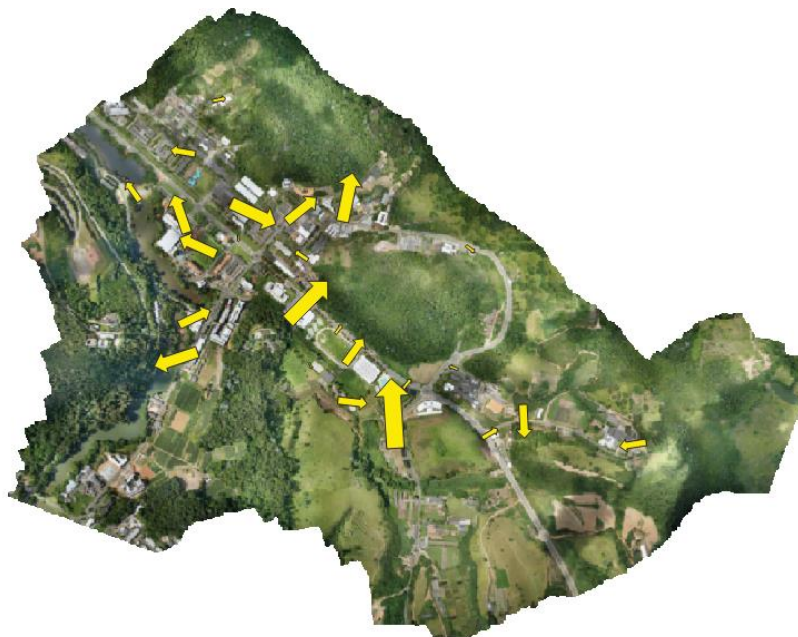


Figura 8. Espacialização das discrepâncias planimétricas para o software Metashape

Visualmente é possível perceber que os vetores de discrepância não apresentem uma tendência de direção. Portanto, devido à divergência entre o Teste t de Student e a Média Direcional e a Variância Circular, foi considerado que o produto não é tendencioso.

Na análise da precisão a escala avaliada foi de 1/2000. Para esta escala, a componente planimétrica do ortomosaico gerado no software Metashape foi enquadrado na Classe A do PEC-PCD, segundo o Decreto nº 89.817/ET-CQDG. Já para a altimetria, considerando uma equidistância vertical de 1 m para as curvas de nível, nenhum valor foi considerado outlier, não houve indícios de

tendência e o MDS foi classificado também como Classe A do PEC-PCD. Portanto, por serem considerados precisos e não apresentarem tendência, o ortomosaico e o MDS gerados pelo Metashape são considerados acurados posicionalmente para a escala de 1/2000.

Seguindo a mesma metodologia, foram obtidas as discrepâncias para os produtos cartográficos obtidos com o software DroneDeploy. Estas discrepâncias estão presentes nas Figuras 9 (planimetria) e 10 (altimetria). A Tabela 3 apresenta as estatísticas descritivas destas discrepâncias.

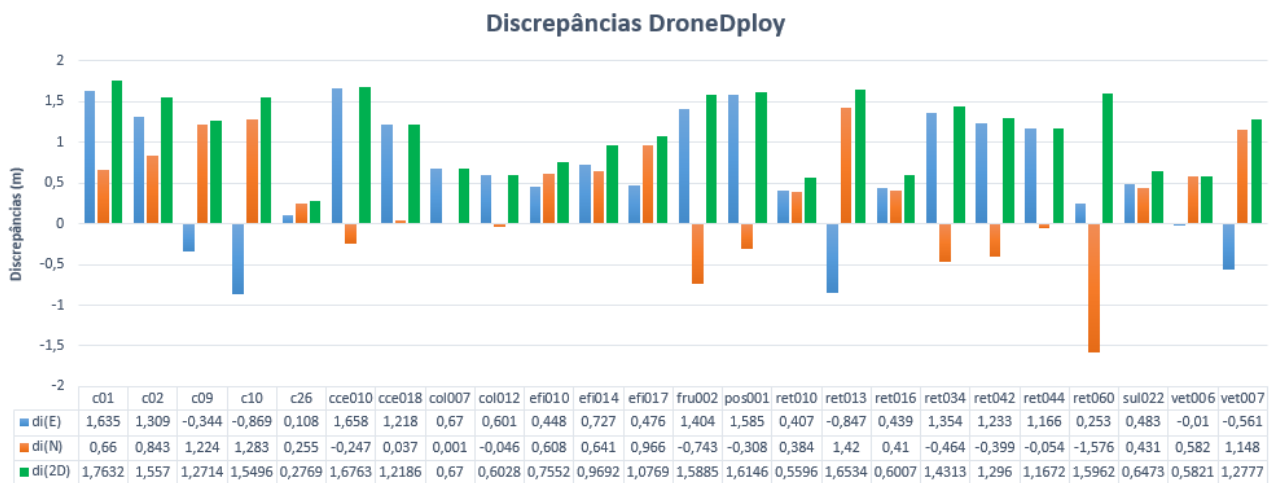


Figura 9. Discrepâncias planimétricas do ortomosaico obtido com o software DroneDeploy

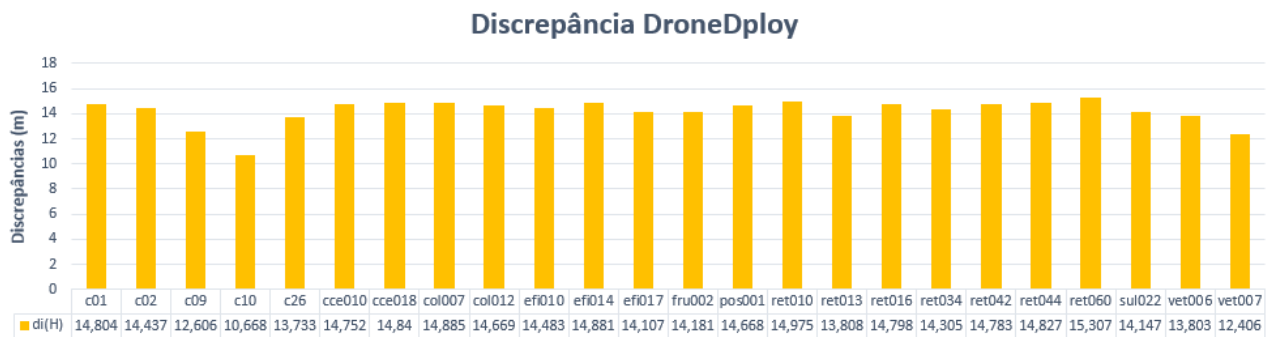


Figura 10. Discrepância altimétricas do MDS obtido com o software DroneDeploy

Tabela 3. Estatísticas descritivas das discrepâncias posicionais do ortomosaico – DroneDeploy

	Este	Norte	Altimetria (H)	Planimetria (2D)
Pontos	24	24	24	24
Média (m)	0,6060	0,2940	14,2030	1,1417
Desvio-padrão (m)	0,7616	0,7145	1,0277	0,4514
RMS (m)	0,9608	0,7587	14,2386	1,2242
Máximo (m)	1,6580	1,4200	15,3070	1,7632
Mínimo (m)	-0,8690	-1,5760	10,6680	0,2769

Como é possível observar nestas figuras e na tabela, os produtos gerados com o DroneDeploy apresentaram discrepâncias significativamente

maiores que aqueles oriundos do Metashape. A Figura 11 representa as discrepâncias planimétricas obtidas.

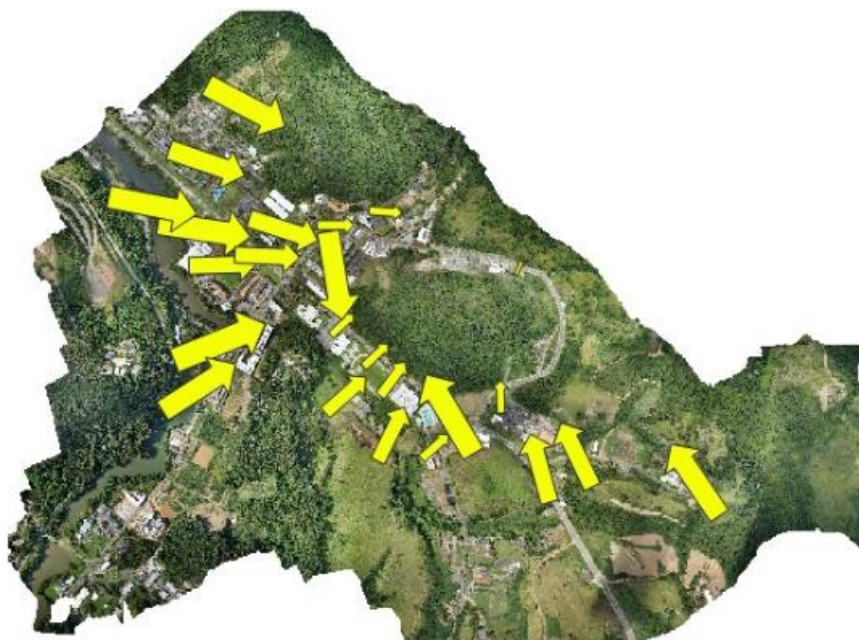


Figura 11. Espacialização das discrepâncias planimétricas para o software DroneDeploy

Entretanto a maior diferença ocorreu na componente altimétrica: o RMS das discrepâncias posicionais altimétricas do MDS do DroneDeploy foi 100 vezes maior que aquelas obtidas no MDS do Metashape. Entretanto, é importante destacar que o DroneDeploy permite a entrada de pontos de controle somente em sua versão paga. Este fato com certeza afeta a qualidade posicional dos produtos cartográficos gerados neste software.

Para a avaliação da acurácia posicional, assim como no caso anterior, inicialmente foi considerada a escala de 1/2000. Para a planimetria, nesta escala, nenhum valor de discrepância foi considerado outlier pelo teste 3σ . Com relação a análise de tendência, tanto o Teste t de Student quanto a Média Direcional e a Variância Circular apontaram a presença de efeito sistemático no

ortomosaico. Na análise da precisão, para a escala de 1/2000, o produto não obteve classificação. Por este motivo, somado a presença de tendência, o ortomosaico foi considerado não acurado posicionalmente para a referida escala.

Diante disso, este produto foi testado novamente para a escala de 1/5000. Entretanto, para esta escala, apesar de ser enquadrado na Classe B na análise de precisão, o ortomosaico continuou sendo considerado não acurado, por ainda apresentar tendência.

Na análise da altimetria, foram testadas as equidistâncias verticais das curvas de nível de 1, 2, 5 e 10 m. Segundo DSG (2016b), estas equidistâncias correspondem às escalas de 1/1000 (ou 1/2000), 1/5000, 1/10000, e 1/25000, respectivamente. Para estas equidistâncias, o MDS

gerado no software DroneDeploy não foi considerado preciso e todas as discrepâncias posicionais altimétricas foram tidas como outliers.

Dessa forma, foi testado o MDS com uma equidistância de 20 m (relacionada com a escala de 1/50000) entre suas curvas de nível. Apesar de não apresentar nenhum valor como possível outlier, o resultado da análise da precisão foi o mesmo. Somente para equidistância vertical de 50 m (escala de 1/100000) o MDS foi considerado preciso (Classe B). Entretanto, não foi considerado acurado. Isso porque o t de Student foi inconclusivo (porque a amostra de discrepância não é normal – um requisito para o teste).

Conclusão

Com o estudo foi possível entender cada tipo de processamento e analisar o produto gerado pelos mesmos, evidenciando que os softwares DroneDeploy e Mappa não disponibilizam o método de processamento realizado pela nuvem, uma vez que os parâmetros e métodos de obtenção dos produtos não são exemplificados. No entanto, seu processamento é mais rápido e não necessita de recursos computacionais robustos.

Ficou evidente ainda, que o software Mappa necessita de melhorias, pois mostrou-se de difícil acesso e não exemplifica o tipo de alvo que esperam para pontos de controle, ou seja, mostra apenas como o arquivo .txt deve estar organizado.

O DroneDeploy se mostrou eficiente no que diz respeito à qualidade visual, no entanto por não possuir a opção de pontos de controle para versão gratuita, suas incertezas altimétricas e planimétricas foram muito altas, não se enquadrando em nenhuma classe do Decreto 89.817 / ET-CQDG na escala 1/2.000.

Para o Metashape o resultado foi coincidente com o esperado, onde o mesmo apresentou boa classificação tanto para planimetria quanto para altimetria, contudo recomenda-se que além da aquisição de sua licença, um investimento também em recurso computacional, uma vez que o mesmo exige muito da máquina, sendo essa imprescindível para um bom desempenho do programa.

Foi realizada ainda a tentativa de processamento nos softwares Pix4D e Open Drone Map. Contudo, infelizmente o Pix4D não possui versão trial. Já o Open Drone Map é um software livre, mas não foi possível carregar todas as fotos

devido à falta de memória RAM do computador utilizado para o estudo.

Sendo assim, é possível notar a importância de se ter o controle de qualidade em todas as etapas na elaboração de um produto cartográfico para que se obtenha dados confiáveis e com boa qualidade.

Referências

- Alves, S. S. O., Baptista, A. C., 2020. Avaliação de Produtos Cartográficos e Extração de Parâmetros Geomorfométricos Obtidos por um VANT. Anuário do Instituto de Geociências, 43, 133-143.
- ANAC (Agência Nacional de Aviação Civil), 2021. Requisitos gerais para aeronaves não tripuladas de uso civil - RBAC-E nº 94. Resolução nº 622/SAR, de 1 de junho de 2021.
- Brasil, 1984. Decreto nº 89.817 de 20 de junho de 1984. Normas Técnicas da Cartografia Nacional. Brasil.
- Colomina, I., Molina, P., 2014. Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: a review. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 92, 79-97.
- DECEA (Departamento de Controle do Espaço Aéreo), 2020. Portaria DECEA No 109/DGCEA, de 22 de maio de 2020. Aeronaves não tripuladas para uso em proveito dos órgãos ligados aos governos federal, estadual e municipal. Departamento de Controle do Espaço Aéreo. Retirado de: <https://publicacoes.decea.mil.br/api/storage/uploads/files/569c5965-b12d-41f7-851dd74bdef34102.pdf>. Acesso em: 10 de nov. 2023.
- DSG (Diretoria de Serviço Geográfico do Exército), 2016a. Especificação Técnica para Controle de Qualidade de Dados Geoespaciais (ET-CQDG). Brasil.
- DSG (Diretoria de Serviço Geográfico do Exército), 2016b. Especificação Técnica para a Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais de Defesa da Força Terrestre (ET-ADGV-F-TER).
- Franco, G.G., Naime, A. F., 2021. Structure from Motion (SfM) – Uma Breve Revisão Histórica, Aplicações nas Geociências e Perspectivas Futuras, Anuário do Instituto de Geociências, 44: 40853.
- Hung, M. N. W. B., Sampaio, T. V. M., Schultz, G. B., Siefert, C. A. C., Lange, D. R., Marangon, F. H. S., Santos, I., 2018. Levantamento com veículo aéreo não tripulado para geração de modelo digital do terreno em bacia experimental com vegetação florestal esparsa.

- Raega-O Espaço Geográfico em Análise, 43, 215-231.
- Lowe, D. G., 2004. Distinctive Image Features from ScaleInvariant Keypoints. *International Journal of Computer Vision*, 60, 91-110.
- Martins, M. N., 2022. Aplicações de VANTs no monitoramento de águas continentais. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental). Universidade Federal do Ceará. Fortaleza.
- Medeiros Neto, M. P., 2016. Veículos aéreos não tripulados e sistema de entrega: estudo, desenvolvimento e testes. Dissertação (Mestrado em Sistemas e Computação). Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal.
- Nero, M. A., 2005. Proposta Para O Controle De Qualidade De Bases Cartográficas Com Ênfase Na Componente Posicional. 2005. 186 p. Tese (Doutorado Em Engenharia De Transportes) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Nunes, C. R., Vasconcelos, P. E. A., 2020. A Utilização Particular Ou Empresarial De Drones No Brasil: Responsabilidade Civil E Ambiental Ou Marco Regulatório. *Revista Jurídica da FA7*, 17, 13-24.
- Santos, A. P., Rodrigues, D. D., Santos, N. T., Gripp Júnior, J., 2016a. Avaliação Da Acurácia Posicional Em Dados Espaciais Utilizando Técnicas De Estatística Espacial: Proposta De Método E Exemplo Utilizando A Norma Brasileira. *Boletim de Ciências Geodésicas*, 22, 4, 630-650, out-dez.
- Santos, A. P., Medeiros, N. G., Santos, G. R., Rodrigues, D. D., 2016b. Avaliação da Acurácia Posicional Planimétrica em Modelos Digitais de Superfície com o Uso De Feições Lineares. *Boletim De Ciências Geodésicas*, Curitiba-PR, 22, N. 1., 157-174.
- Westoby, M. J., Brasington, J., Glasser, N. F., Hambrey, M. J., Reynolds, M., 2012. Structure-from-Motion photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applications. *Geomorphology*, vol. 179, no. 15, p. 300-14.
- <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.08.021>.