

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

GABRIEL MATHEUS COSTA

**COMPARAÇÃO DE QUALIDADE ENTRE SOFTWARES DE PROCESSAMENTOS
FOTOGAMÉTRICOS COMERCIAIS E OPEN SOURCE NA GERAÇÃO DE
PRODUTO CARTOGRÁFICO**

Monte Carmelo -MG

2022

GABRIEL MATHEUS COSTA

**COMPARAÇÃO DE QUALIDADE ENTRE SOFTWARES DE PROCESSAMENTOS
FOTOGAMÉTRICOS COMERCIAL E OPEN SOURCE NA GERAÇÃO DE
PRODUTO CARTOGRÁFICO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Geografia da Universidade Federal de Uberlândia, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Agrimensura e Cartográfica.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Bezerra de Araújo Gallis

Monte Carmelo - MG

2022

GABRIEL MATHEUS COSTA

**COMPARAÇÃO DE QUALIDADE ENTRE SOFTWARES DE PROCESSAMENTOS
FOTOGRAFAMÉTRICOS COMERCIAIS E OPEN SOURCE NA GERAÇÃO DE
PRODUTO CARTOGRÁFICO**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado como requisito para a obtenção do título de bacharel em Engenharia de Agrimensura e Cartográfica da Universidade Federal de Uberlândia, Campus Monte Carmelo.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Bezerra de Araújo Gallis

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Rodrigo Bezerra de Araújo Gallis (Orientador)

Universidade Federal de Uberlândia

Prof. Dr. Ricardo Luís Barbosa (Examinador)

Universidade Federal de Uberlândia

Me. Samuel Lacerda de Andrade (Examinador)

Universidade Federal de Uberlândia

Monte Carmelo - MG

2022

Ficha Catalográfica Online do Sistema de Bibliotecas da UFU
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

C837	Costa, Gabriel Matheus, 1998-
2022	<p>COMPARAÇÃO DE QUALIDADE ENTRE SOFTWARES DE PROCESSAMENTOS FOTOGAMÉTRICOS COMERCIAIS E OPEN SOURCE NA GERAÇÃO DE PRODUTO CARTOGRÁFICO [recurso eletrônico] / Gabriel Matheus Costa. - 2022.</p> <p>Orientador: Rodrigo Bezerra de Araújo Gallis. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Uberlândia, Graduação em Engenharia de Agrimensura e Cartográfica. Modo de acesso: Internet. Inclui bibliografia.</p> <p>1. Agrimensura. I. Gallis, Rodrigo Bezerra de Araújo, 1977-, (Orient.). II. Universidade Federal de Uberlândia. Graduação em Engenharia de Agrimensura e Cartográfica. III. Título.</p>

CDU: 528

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho de conclusão de curso ao meu querido avô Adão Bernardino de Oliveira (*in memoriam*), por me inspirar na escolha do curso.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiro a Deus e Nossa Senhora de Fatima por ter me mantido na trilha certa durante este projeto de pesquisa com saúde e forças para chegar até o final.

Aos meus pais Janio e Edina e irmão João Paulo, que me incentivaram nos momentos difíceis e compreenderam a minha ausência enquanto eu me dedicava à realização deste trabalho.

Ao professor Dr. Rodrigo Bezerra de Araújo Gallis, por ter sido meu orientador e ter desempenhado tal função com dedicação e amizade.

A minha colega Rafaela de Oliveira Pena que está presente na minha vida desde o ensino fundamental, mas que durante a graduação foi de uma maneira mais próxima.

Também quero agradecer à Universidade Federal de Uberlândia e a todos os professores do meu curso pela elevada qualidade do ensino oferecido.

RESUMO

Segundo a Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), as ARPs são definidas como uma aeronave não tripulada que é pilotada por meio de uma estação de pilotagem remota que tenha qualquer outra finalidade que não seja recreativa, tais como comercial, corporativa e experimental. Na Fotogrametria, as ARPs estão sendo utilizados para a coleta de imagens aéreas para a extração de informações agilizando a tomada de decisão em diversas áreas do conhecimento. O processamento destas imagens após o voo geralmente é realizado em softwares fotogramétricos geralmente pagos. Devido ao alto custo dos softwares computacionais principalmente para usuários com baixo poder aquisitivo, começaram a surgir softwares e ferramentas computacionais de código livre, de moda a atender a comunidade de usuários de softwares e soluções fotogramétricas que não dispõe de recursos financeiros para aquisição dos softwares fotogramétricos ou que preferem utilizar ferramentas passíveis de serem customizadas. A proposta deste trabalho é realizar um voo numa área teste previamente escolhida, processar este conjunto de imagens e gerar produtos fotogramétricos com os pacotes computacionais mais conhecidos do mercado cujas licenças são pagas com um pacote computacional de código aberto e assim comparar os resultados obtidos destes três softwares com um mesmo conjunto de dados.

PALAVRAS-CHAVE: Aeronave Remotamente Pilotada, Software Livre, Processamento Fotogramétrico.

ABSTRACT

According to the National Civil Aviation Agency (ANAC), ARPs are defined as an unmanned aircraft that is flown through a remote pilot station that has any purpose other than recreational, such as commercial, corporate and experimental. In Photogrammetry, ARPs are being used to collect aerial images for the extraction of information, speeding up decision making in several areas of knowledge. The processing of these images after the flight is usually carried out in photogrammetric software that is usually paid for. Due to the high cost of computational software, mainly for users with low purchasing power, open source software and computational tools began to emerge, in order to serve the community of users of photogrammetric software and solutions that do not have the financial resources to acquire photogrammetric software. or who prefer to use tools that can be customized. The purpose of this work is to carry out a flight in a previously chosen test area, process this set of images and generate photogrammetric products with the best known computer packages on the market whose licenses are paid with an open source computer package and thus compare the results obtained from these three software with the same data set.

KEYWORDS: *Remotely Piloted Aircraft, Free Software, Photogrammetric Processing.*

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1-	Sobreposição longitudinal.....	16
Figura 2-	Sobreposição lateral.....	17
Figura 3-	Imagens Aéreas.....	17
Figura 4-	Método RTK convencional.....	20
Figura 5-	Mapa de localização da área de estudo.....	21
Figura 6-	Fluxograma metodológico.....	23
Figura 7-	Plano de voo.....	24
Figura 8-	Pontos de controle	25
Figura 9-	Modelo para a materialização de pontos de controle.....	26
Figura 10-	Pontos de Checagem.....	27
Figura 11-	Modelo para a materialização de pontos de checagem.....	28
Figura 12-	DJI Phantom 4 Pro.....	28
Figura 13-	Topcon Hiper V.....	29
Figura 14-	Garmin eTrex 20.....	29
Figura 15-	Materialização.....	30
Figura 16-	Coleta da coordenada.....	30
Figura 17-	Seleção das imagens.....	34
Figura 18-	Align photos.....	35
Figura 19-	Build Dense Cloud.....	35
Figura 20-	Build DEM.....	36
Figura 21-	Build Orthomosaic.....	37
Figura 22-	New Project.....	38
Figura 23-	Local para a inserção das imagens.....	39
Figura 24-	Tela do software após o final do processamento.....	39
Figura 25-	Tela final do PIX4D.....	40
Figura 26-	Tamanho do pixel WebODM.....	43
Figura 27-	Tamanho do pixel PIX4D.....	44
Figura 28-	Tamanho do pixel Metashape.....	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Classificação ARP.....	18
Tabela 2 -	Tolerância de erros.....	19
Tabela 3 -	Parâmetros dos voos.....	25
Tabela 4 -	Requisitos mínimos WebODM.....	31
Tabela 5 -	Arquivos de entrada compatíveis com WebODM.....	31
Tabela 6 -	Arquivos de saída compatíveis com WebODM.....	31
Tabela 7 -	Requisitos mínimos PIX4D.....	32
Tabela 8 -	Arquivos de entrada compatíveis com PIX4D.....	32
Tabela 9 -	Arquivos de saída compatíveis com PIX4D.....	32
Tabela 10 -	Requisitos mínimos Metashape.....	33
Tabela 11 -	Arquivos de entrada compatíveis com Metashape.....	33
Tabela 12 -	Arquivos de saída compatíveis com Metashape.....	33
Tabela 13-	Comparativo de Valores.....	41
Tabela 14-	Coordenadas coletadas.....	42

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

VLOS	OPERAÇÃO EM LINHA DE VISADA VISUAL
ARP	AERONAVES REMOTAMENTE PILOTADAS
ANAC	AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL
PEC	PADRÃO DE EXATIDÃO CARTOGRÁFICA
SIG	SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA
BVLOS	ALÉM DA LINHA DE VISADO VISUAL
DECEA	DEPARTAMENTO DE CONTROLE DO ESPAÇO AÉREO
RTK	REAL TIME KINEMATIC
UFU	UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
RMS	RAIZ QUADRADA DO ERRO MÉDIO QUADRÁTICO
ICA	INSTRUÇÃO DE COMANDO DA AERONÁUTICA
UTM	UNIVERSAL TRANSVERSA DE MERCATOR
ANATEL	AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	12
2. OBJETIVO.....	14
3. JUSTIFICATIVA	15
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
4.1 Fotogrametria	16
4.2 ARP's	16
4.3 Padrão de Exatidão Cartográfica.....	18
4.4 Posicionamento RTK.....	19
5. MATERIAIS E MÉTODOS	21
5.1 Área de estudo.....	21
5.2 Material	21
5.3 Metodologia	23
6. DESENVOLVIMENTO.....	31
6.1 OpenDroneMap.....	31
6.2 PIX4D.....	32
6.3 Metashape.....	33
6.4 Processamento	33
6.5 Passo a passo processamento WebODM.....	34
6.6 Passo a Passo processamento Metashape	34
6.7 Passo a Passo processamento PIX4D	37
6.8 Comparação dos Resultados	40
6.9 Comparativo de valores	40
7. RESULTADOS	42
7.1 WebODM.....	42
7.2 PIX4D.....	43
7.3 Metashape.....	44
9. CONCLUSÃO.....	46

1. INTRODUÇÃO

A ANAC (Agência Nacional de Aviação Civil) define VANT (Veículo Aéreo Não Tripulado) ou ARP's (Aeronaves Remotamente Pilotadas), termo comumente adotado no meio acadêmico, como equipamentos de voo projetados para operação remota que não tenham fins meramente recreativos (ANAC, 2012). Essa tecnologia, aliada a fotogrametria, vem se tornando cada dia mais acessível para o público leigo e profissional, tendo um fim por vezes recreativo, mas sendo principalmente aplicado em trabalhos de engenharia, tendo diversas aplicações dentro da área, como agricultura de precisão, cadastro urbano e rural, entre outras aplicações.

A fotogrametria, do grego *photon* [luz], *graphos* [escrita] e *metron* [medições] significa medições executadas através de fotografias, mas um consenso geral define tal termo como a ciência e tecnologia de se obter informação confiável por meio de imagens adquiridas por sensores. No mundo atual, divide-se a fotogrametria em três segmentos distintos: aérea, espacial e terrestre. Na fotogrametria aérea, as imagens são obtidas por uma câmera de precisão acoplada em uma aeronave. Na fotogrametria terrestre, a câmera de precisão está fixa em uma posição definida no terreno e na fotogrametria espacial, abrange todos os casos onde os sensores obtêm imagens no meio extraterrestre, como por exemplo, satélites de monitoramento (COELHO; BRITO, 2007, TOMMASELLI, 2009).

Com a popularização das ARP's, o uso da fotogrametria aérea vem se tornando cada vez mais comum por conta de ter se tornado uma tecnologia mais acessível, tendo em vista que anos atrás para a realização de um trabalho deste tipo era necessário a utilização de uma aeronave, como um avião por exemplo, com uma fuselagem toda adaptada para se embarcar uma câmera aerofotogramétrica. Hoje em dia, existem no mercado vários tipos e modelos de ARP's disponíveis, cada qual com diferentes especificações, como tamanho, carga útil, quantidade de motores, autonomia de voo, número de pás, sensores embarcados, entre outras.

Apesar da tecnologia de ARP's e câmeras ter se tornado mais acessível, não se pode esquecer que esse é somente o primeiro passo para gerar produtos fotogramétricos. Além do equipamento, existe o treinamento para sua operação que é baseado em uma legislação específica e o processamento dados obtidos. A maioria dos *softwares* utilizados para o processamento possuem licenças pagas, como por exemplo, o Metashape e o PIX4D, ambos com um alto preço para a sua aquisição. Entretanto, vem surgindo no mercado, opções de *softwares* gratuitos, como por exemplo, o OpenDroneMap, que tem uma aplicação e uso

bastante parecida com os seus concorrentes pagos, tornando assim sua utilização bastante interessante e acessível.

Entretanto, uma preocupação comum entre os usuários desta tecnologia, é o controle de qualidade dos resultados obtidos por meio dos diferentes *softwares*. Tendo isso em vista, o trabalho teve como objetivo analisar o principal produto fotogramétrico gerado por estes *softwares*, que é a ortofoto (combinação das imagens aéreas) utilizando como parâmetro o PEC (Padrão de Exatidão Cartográfica) presente no Decreto Nº 89.817, de 20 de Junho de 1984, sendo uma das Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional, que se subdivide em 3 diferentes classes (A, B e C) onde cada uma delas tem sua tolerância para os erros. Assim, o objetivo deste trabalho, é apresentar uma comparação de resultados obtidos com dois *softwares* fotogramétricos pagos (Metashape e PIX4D) e um software fotogramétrico gratuito (OpenDroneMap), buscando evidenciar que a opção gratuita pode ser utilizada para obtenção de produtos fotogramétricos satisfatórios, assim como os seus concorrentes.

2. OBJETIVO

Realizar uma comparação de qualidade na geração de ortofotos geradas por diferentes *softwares* de processamento fotogramétrico, sendo duas opções com licenças pagas e uma opção gratuita, evidenciando a última opção como uma alternativa para a comunidade de usuários de ARP's que utilizam da tecnologia para realização de voos para mapeamento.

3. JUSTIFICATIVA

Com a popularização das ARP's, os trabalhos de mapeamento fazem o uso cada vez mais comum desta tecnologia, visto que a aquisição e o processamento dos dados demandam menor custo e tempo, se comparados com os métodos tradicionais de aquisição e processamento. Existem hoje no mercado, várias alternativas de *softwares* para realização do processamento de dados, porém apesar da citada popularização, o valor de aquisição destes é ainda elevado, podendo chegar a custar R\$20.000,00 a licença de uso, valor ainda dependente da flutuação cambial, visto que o preço das licenças é cotado em dólar.

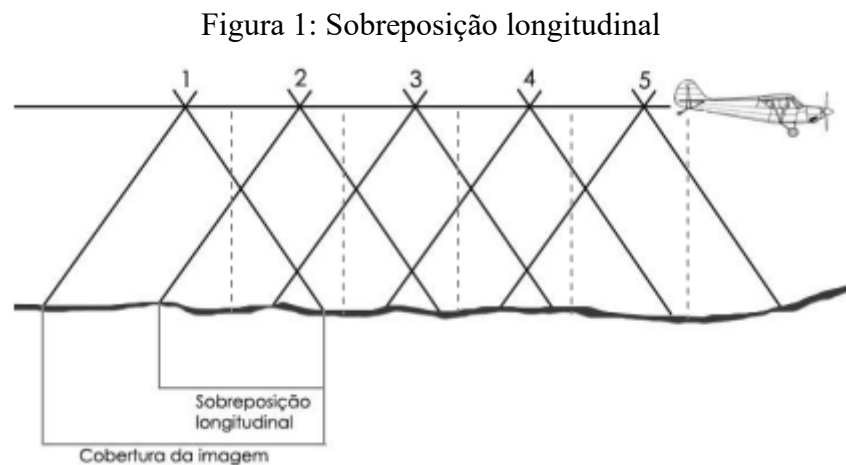
Contudo, há a opção de utilizar um software gratuito, tendo como exemplo, o OpenDroneMap, que realiza processamento semelhante aos seus concorrentes pagos. Neste trabalho as ortofotos geradas nos processamentos serão utilizadas para validação de um software gratuito, verificando se o produto gerado (ortofoto) possui a mesma qualidade apresentada pelos seus concorrentes pagos.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 Fotogrametria

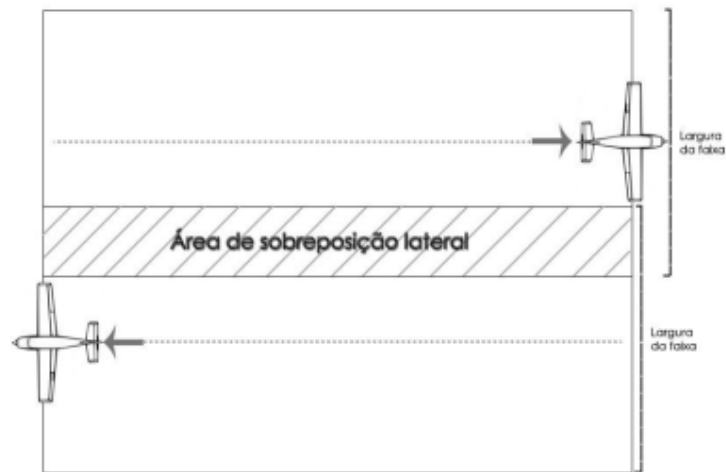
A fotogrametria é a arte, ciência e tecnologia de obter informações de confiança sobre objetos e do meio ambiente com o uso de processos de registro, medições e interpretações das imagens fotográficas e padrões de energia eletromagnética registrados (ASP, 1966). Tal técnica é aplicada na atualidade em SIG (Sistema de Informação Geográfica), Cadastro Técnico Multifinalitário, agricultura de precisão, entre outros, utilizando majoritariamente as ARP's.

As ARP's quando utilizadas para fins de mapeamento, são programadas de tal forma que haja a sobreposição das imagens obtidas. Isto quer dizer que um mesmo ponto na superfície terrestre aparecerá em mais de uma imagem, nas regiões chamadas de sobreposição longitudinal e lateral. A Figura 1 ilustra a sobreposição longitudinal e a Figura 2 ilustra a sobreposição lateral.



Fonte: Ferreira (2014).

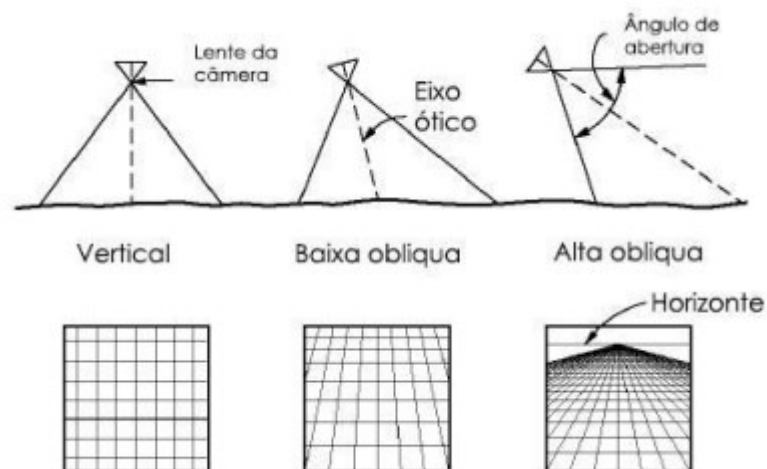
Figura 2: Sobreposição lateral



Fonte: Ferreira (2014).

Outro parâmetro a ser observado, é que, as imagens podem obtidas com diferentes angulações da câmera. Para fins cartográficos, as imagens serão obtidas normalmente na vertical, deste modo o eixo focal fica orientado perpendicularmente ao horizonte. A figura 3 ilustra a obtenção de imagens aéreas de acordo com a inclinação do sensor (Ferreira, 2014).

Figura 3: Imagens Aéreas



Fonte: Adaptada de Wolf (2000)

4.2 ARP's

A ANAC define VANT ou ARP's, termo comumente adotado no meio acadêmico, como um equipamento de voo projetado para operação remota que não tenham fins meramente recreativos (ANAC, 2012). Este mesmo órgão federal é responsável pela criação e atualização das normas sobre a utilização de ARP's. A agência divide os ARP's em 3 categorias de acordo com peso máximo de decolagem (BRASIL, 2021). A Tabela 1 apresenta estas classes:

Tabela 1: Classificação ARP

Classe	Peso máximo
Classe 1	Peso máximo de decolagem maior que 150 kg
Classe 2	Peso máximo de decolagem maior que 25 kg e até 150 kg
Classe 3	Aeromodelos ou RPA com peso máximo de decolagem de até 250g RPA com peso máximo de decolagem maior que 250g e até 25 kg

Fonte: ANAC (2022).

O Ministério da Defesa por meio do Comando da Aeronáutica, possui um departamento que controla o espaço aéreo brasileiro chamado de DECEA (Departamento de Controle do Espaço Aéreo), o qual também é responsável pelo acesso das ARP's ao espaço aéreo brasileiro por meio da ICA (Instrução de Comando da Aeronáutica) 100-40, "Aeronaves não tripuladas e o Acesso ao Espaço Aéreo Brasileiro", que traz as informações sobre o acesso das aeronaves remotamente pilotadas ao espaço aéreo brasileiro (BRASIL, 2020).

Para realização deste trabalho foi utilizado um ARP Classe 3, com peso máximo de decolagem maior que 250g até 25 kg. Este modelo possui algumas especificações e requisitos junto a ANAC e ANATEL (Agência Nacional de Telecomunicações) como: para ser o piloto ou auxiliar de operação, é preciso ter no mínimo 18 anos e que a ARP esteja cadastrado no SISANT (Sistema de Aeronaves não Tripuladas) (BRASIL, 2021).

4.3 Padrão de Exatidão Cartográfica

O Brasil possui o Decreto nº 89.817 de 20 de junho de 1984, no qual são estabelecidas as normas de acurácia posicional PEC. O PEC está dividido em 3 classes (A, B e C), onde cada uma delas possui sua tolerância de acordo com escala de avaliação dos dados espaciais (SANTOS; RODRIGUES; SANTOS; GRIPP JUNIOR, 2016).

Na seção II do decreto acima, “Classes de Cartas”, no seu artigo 9, são apresentados os erros planimétricos e altimétricos tolerados em cada uma das 3 classes como é mostrado na Tabela 2.

Tabela 2: Tolerância de erros

Classes	Planimétrico	Altimétrico
A	0,5 mm	Metade da equidistância entre as curvas-de-nível
B	0,8 mm	Três quintos da equidistância entre as curvas-de-nível
C	1,0 mm	Três quartos da equidistância entre as curvas-de-nível

Fonte: CASA CIVIL (1984).

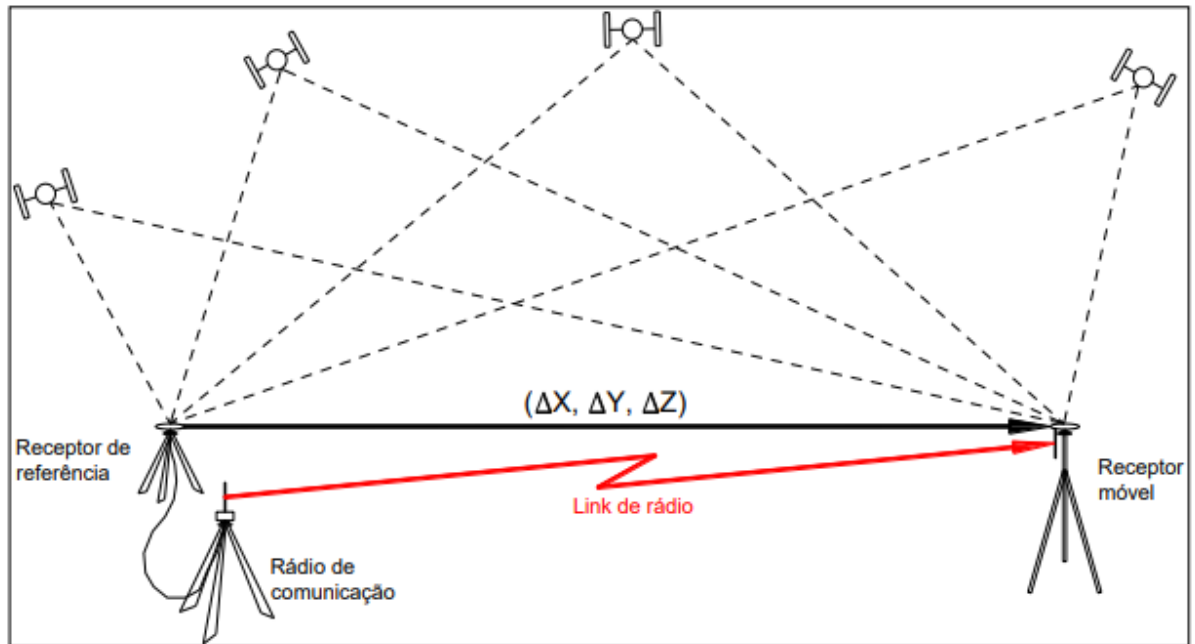
4.4 Posicionamento RTK

O posicionamento RTK (Real Time Kinematic), segundo Monico (2008) e Seeber (2003), tem seu funcionamento baseado nas seguintes características:

- Transmissão em tempo real dos dados de fase da onda portadora e pseudodistância;
- Resolução das ambiguidades para linha de base entre a estação base e o móvel
- Determinação confiável do vetor da linha de base em tempo real.

O posicionamento RTK neste trabalho foi utilizado para o levantamento de pontos de controle e de checagem e para sua execução são necessários dois receptores coletando dados ininterruptamente. Um dos receptores é chamado de base pois ele fica instalado em um ponto de coordenada conhecida, e o outro receptor é chamado de *rover* (móvel), que fica com seu operador nas proximidades realizando a coleta dos pontos de interesse, determinando sua posição em tempo real. Na Figura 4 é ilustrado como é realizado a coleta de coordenadas pelo método RTK.

Figura 4: Método RTK convencional.



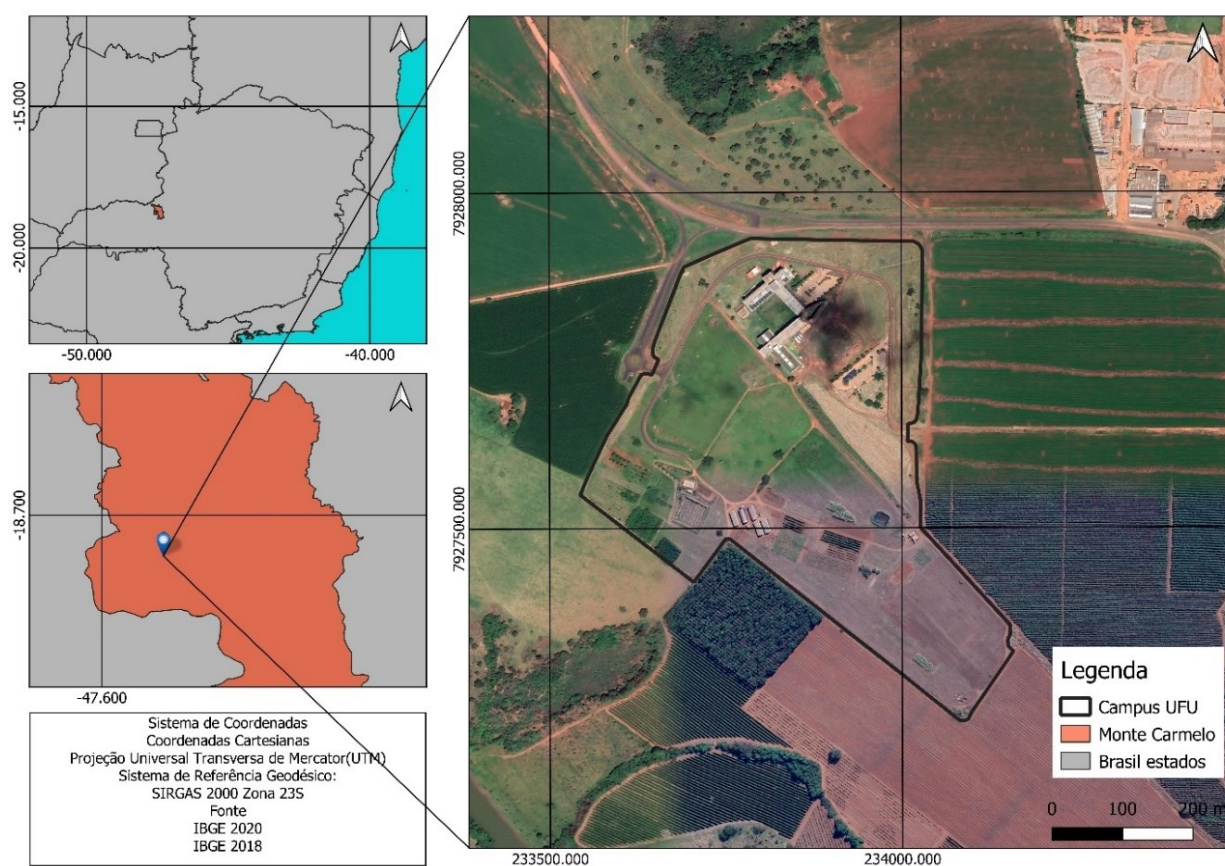
Fonte: INCRA (2013).

5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Área de estudo

A área definida para o estudo está localizada dentro do município de Monte Carmelo – Minas Gerais, às margens da rodovia LMG-746, no campi da Universidade Federal de Uberlândia – UFU no Campus Monte Carmelo. Situado às coordenadas geográficas de $18^{\circ}43'27''$ S e de $47^{\circ}31'26''$ O, contempla uma área de aproximadamente 23,4 hectares. Na Figura 5 fica ilustrada a localização da área de estudo.

Figura 5: Mapa de localização da área de estudo



Fonte: O autor (2022)

5.2 Material

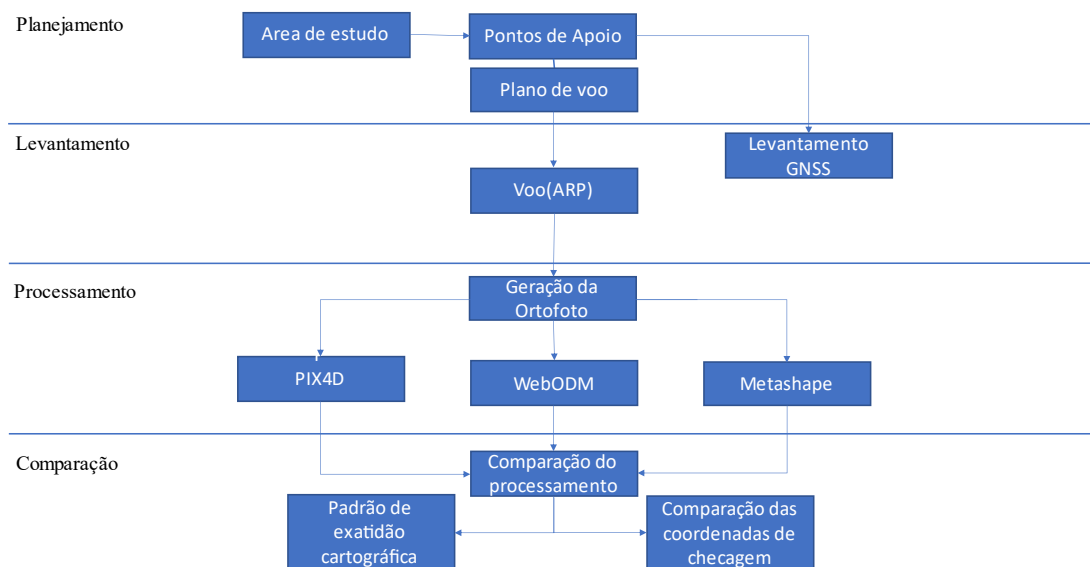
O trabalho foi dividido em 4 etapas distintas, para cada uma delas está discriminado abaixo os materiais utilizados para sua realização.

- 1. Etapa de planejamento** - Uso do software “DroneDeploy” para a construção dos planos de voo e do software “QGIS” para a distribuição dos pontos de controle e checagem (levantamento aerofotogramétrico).
- 2. Etapa de levantamento** – Uso da ARP “DJI Phantom 4 Pro” para o aerolevanteamento e do GNSS “Topcon Hiper V” para determinação dos pontos de controle e checagem.
- 3. Etapa de processamento** – Uso de um laptop com um processador Intel Core i5, 8GB RAM e sistema operacional Windows 10 e um desktop com processador Intel Core i7, 20GB RAM e sistema operacional Windows 10. Os *softwares* utilizados para o processamento dos conjuntos de dados obtidos na etapa de levantamento foram o PIX4D, Metashape e WebODM.
- 4. Etapa de comparação dos resultados** – Uso do software GeoPEC para verificar o padrão de exatidão cartográfica dos produtos obtidos.

5.3 Metodologia

Este trabalho foi realizado através de quatro etapas cruciais para obtenção da comparação desejada entre os *softwares* fotogramétricos, sendo elas: planejamento, levantamento, processamento de dados e comparação do resultado obtido em cada um dos três *softwares*. Na Figura 6 podemos ver o fluxograma metodológico do trabalho.

Figura 6: Fluxograma metodológico.



Fonte: O autor (2022).

5.3.1 Planejamento

Nesta etapa foram projetados os planos de voo com a utilização do software “DroneDeploy”, ilustrados na figura 7.

Figura 7: Plano de voo



Fonte: O autor (2022).

O motivo pelo qual foi necessário o uso de dois planos de voo distintos foi o tempo de duração das baterias ser menor que o tempo de execução do voo para a área total. A Tabela 3 traz as informações sobre os parâmetros dos voos.

Tabela 3: Parâmetros dos voos

Parâmetros	Valores
Altura	120 m
GSD	3 cm
Sobreposição lateral	65%
Sobreposição longitudinal	75%
Quantidade total de fotos	209
Quantidade de faixas	12
Área	28 ha
Tempo de voo	15 min

Fonte: O autor (2022).

Nesta mesma etapa foram definidos os locais nos quais foram implantados os pontos de controle e de checagem. No total foram implantados 34 pontos, sendo que destes, 18 são de pontos de controle e 16 são pontos de checagem, pontos estes que foram utilizados para o processamento das imagens. Do mesmo modo estes pontos foram utilizados para a etapa de comparação de dados. As Figuras 8 e 10 ilustram respectivamente os locais de implantação dos pontos de controle e pontos de checagem.

Figura 8: Pontos de controle

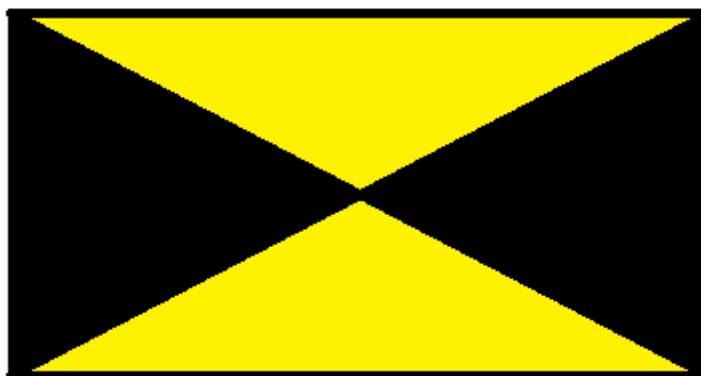


Fonte: O autor (2022).

Para realizar a escolha dos locais que foram implantados os pontos de controle, primeiramente foi utilizado o plugin *polygon Divider* presente no software QGIS, dentro da camada *vetor*, pois ele realiza a divisão do polígono do campo em N polígonos de mesma área.

Em seguida foi utilizado o plugin *centroides*, presente no software QGIS dentro da camada *vetor*, atributo *geometrias*. Esta ferramenta foi utilizada pois retira o centroide de cada um dos N polígonos criados anteriormente, gerando desta forma possíveis locais de implantação de pontos de controle. Na figura 9 é mostrado o modelo de materialização dos pontos de controle em campo.

Figura 9: Modelo para a materialização dos pontos de controle



Fonte: O autor (2022).

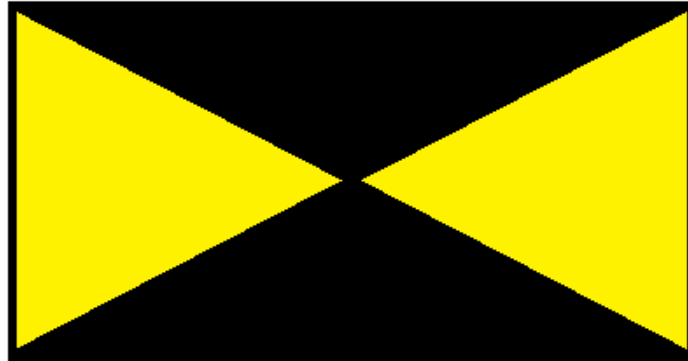
Figura 10: Pontos de Checagem



Fonte: O autor (2022).

Para realizar a escolha dos locais nos quais foram implantados os pontos de checagem, foi utilizado o plugin *criar grade*. Essa ferramenta realiza a criação de uma grade de pontos com um espaçamento X definido pelo usuário, os comandos para a realização da tarefa estão presentes na camada *vetor*, atributo *investigar*, plugin *criar grade* do software QGIS. Com a grade de pontos criada foi realizada a escolha dos pontos através de sua proximidade com um ponto de controle já existente. Na figura 11 é mostrado o modelo de materialização dos pontos de checagem em campo.

Figura 11: Modelo para a materialização checagem



Fonte: O autor (2022).

5.3.2 Levantamento

5.3.2.1 Voo

A aquisição dos dados fotogramétricos foi realizada com a ARP “DJI Phantom 4 Pro”, o equipamento transporta um sensor CMOS de 1 polegada com 20 *megapixels* de resolução e possui uma lente com as seguintes especificações: “FOV 84° 8.8 mm/24 mm (35 mm format equivalent) f/2.8 - f/11 auto focus at 1 m”. DJI (2022).

Com os planos de voo concebidos, os mesmos foram executados na área de estudo, respeitando os parâmetros indicados na etapa anterior. A Figura 12 mostra a ARP utilizada para aquisição das imagens.

Figura 12: ARP Utilizado



Fonte: O autor (2022).

5.3.2.2 GNSS

A aquisição dos dados de geoposicionamento foi realizado com um par de receptores GNSS “Topcon Hiper V”, que possui uma precisão de *Horizontal: 5mm + 0,5ppm* e *Vertical: 10mm + 0,8ppm* no método RTK Embratop (2022). Na Figura 13 é mostrado o receptor usado para a aquisição dos dados.

Figura 13: Topcon Hiper V



Fonte: O autor (2022).

Para a localização dos pontos de controle e de checagem em solo, as coordenadas de ambos os pontos foram inseridas no GPS Portátil “Garmin eTrex 20”, para desta forma facilitar a localização dos pontos no campus. Na Figura 14 é mostrado o “Garmin eTrex 20” utilizado.

Figura 14: Garmin eTrex 20



Fonte: O autor (2022).

Com o ponto localizado em campo, foi realizada sua materialização e a coleta de sua coordenada pelo método de coleta RTK. As coordenadas foram coletadas no sistema de coordenadas UTM (Universal Transversa de Mercator). As Figuras 15 e 16 ilustram respectivamente a materialização e a coleta de coordenadas.

Figura 15: Materialização.



Fonte: O autor (2022).

Figura 16: Coleta da coordenada.



Fonte: O autor (2022).

6. DESENVOLVIMENTO

6.1 OpenDroneMap

O ODM (OpenDroneMap) é um software de processamento de imagem gratuito que possui diversas formas de ser utilizado. Podemos citar o NodeODM, que é uma API REST para acessar o ODM, utilizando uma interface web para acesso de suas ferramentas. Podemos citar também o LiveODM, que é um inicializador utilizando um DVD/USB com o node-ODM e WebODM pré-instalados. E por último o WebODM, um aplicativo para a realização de processamento de imagens oriundas de ARP, que diferentemente do NodeODM, fornece uma interface completa com funções de visualização, armazenagem e análise de dados (OPENDRONEMAP AUTHORS ODM, 2020).

Nas tabelas 4, 5 e 6 pode-se observar respectivamente os requisitos computacionais mínimos necessários para a utilização do software e os arquivos de entrada e saída compatíveis com o WebODM.

Tabela 4: Requisitos mínimos WebODM

Requisitos	
RAM	4 GB
CPU	64 bits
Windows	Windows 7, 8, 10
CPU Pro	Não utilizado

Fonte: OpenDroneMap (2022).

Tabela 5: Arquivos de entrada compatíveis com WebODM

Entradas Suportadas
JPEGs
TIFFs (8 e 16 bits)
Pontos de controle de solo

Fonte: OpenDroneMap (2020).

Tabela 6: Arquivos de saída compatíveis com WebODM

Saídas Suportadas
Imagens ortorretificadas
Modelos de digital de superfície
Modelos Digitais de Terreno
Modelos 3D texturizados
Nuvens de pontos classificados

Fonte: OpenDroneMap (2020).

Neste trabalho foi utilizado o WebODM por possuir uma interface mais interativa e conter todas as ferramentas presentes no OpenDroneMap. Para demonstrar de uma forma mais didática o passo a passo de instalação foi gravado um vídeo que está disponível no canal “Laser Laboratório de Fotogrametria” no YouTube, com o título de “Instalação WebODM”, no link: <https://youtu.be/rugNUmaKueQ>.

6.2 PIX4D

O PIX4D é um software de processamento de imagem bastante utilizado entre os usuários de ARP's e apresenta compatibilidade com diversos tipos de arquivos de entrada e saída. Nas tabelas 7, 8 e 9 pode-se observar respectivamente os requisitos computacionais mínimos necessários para a utilização do software e os arquivos de entrada e saída compatíveis com o PIX4D.

Tabela 7: Requisitos mínimos PIX4D

Requisitos	
RAM	8GB – 32 GB
CPU	64bits
HD	20 GB
Windows	Windows 7, 8, 10
CPU Pro	Intel i5/ i7/ Xeon

Fonte: PIX4D (2022).

Tabela 8: Arquivos de entrada compatíveis com PIX4D

Entradas Suportadas
JPEGs
TIFFs (8, 10, 12, 14, 16 bits)
Pontos de controle de solo

Fonte: PIX4D (2022).

Tabela 9: Arquivos de saída compatíveis com PIX4D

Saídas Suportadas
Parâmetros da câmera
Nuvem de pontos densos
Modelo Digital de Superfície
Modelo Digital de Terreno
Imagens ortorretificadas
Mapa de Índice
Modelos 3D texturizados
Linhas de contorno

Fonte: PIX4D (2022)

6.3 Metashape

O Metashape é um software para processamento de imagens que oferta uma solução avançada de modelagem 3D baseada em imagens. Nas tabelas 10, 11 e 12 pode-se observar respectivamente os requisitos computacionais mínimos necessários para a utilização do software e os arquivos de entrada e saída compatíveis com o Metashape.

Tabela 10: Requisitos mínimos Metashape

Requisitos	
RAM	16 - 32 GB
CPU	64bits
Windows	Windows 7, 8, 10
CPU Pro	Intel ou AMD de 4 a 8 núcleos

Fonte: Agisoft (2020).

Tabela 11 :Arquivos de entrada compatíveis com Metashape

Entradas Suportadas
JPEGs
TIFFs (8 e 16 bits)
Pontos de controle de solo

Fonte: Agisoft (2020).

Tabela 12: Arquivos de saída compatíveis com Metashape

Saídas Suportadas
Imagens ortorretificadas
Modelos de superfície digital
Modelos Digitais de Terreno
Modelos 3D texturizados
Nuvens de pontos classificados

Fonte: Agisoft (2020).

6.4 Processamento

Após a aquisição dos dados, estes foram processados em três *softwares* diferentes, o PIX4D, Metashape e WebODM, nos quais foram obtidos ortofotos e relatórios de processamento com desvios-padrão e precisões das mesmas.

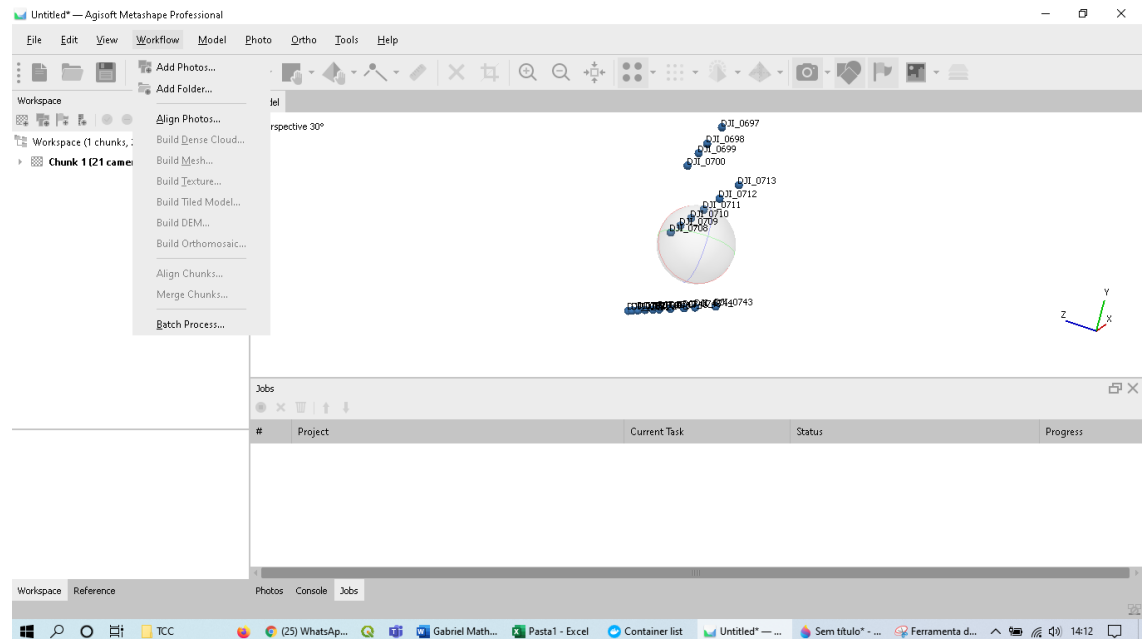
6.5 Passo a passo processamento WebODM.

Para demonstrar de maneira mais didática o processamento em WebODM foi gravado um vídeo que está disponível no canal “Laser Laboratório de Fotogrametria” no YouTube, com o título de “Processamento para geração de Ortofoto”, no link: <https://youtu.be/lkV7Vm98qmc>.

6.6 Passo a Passo processamento Metashape

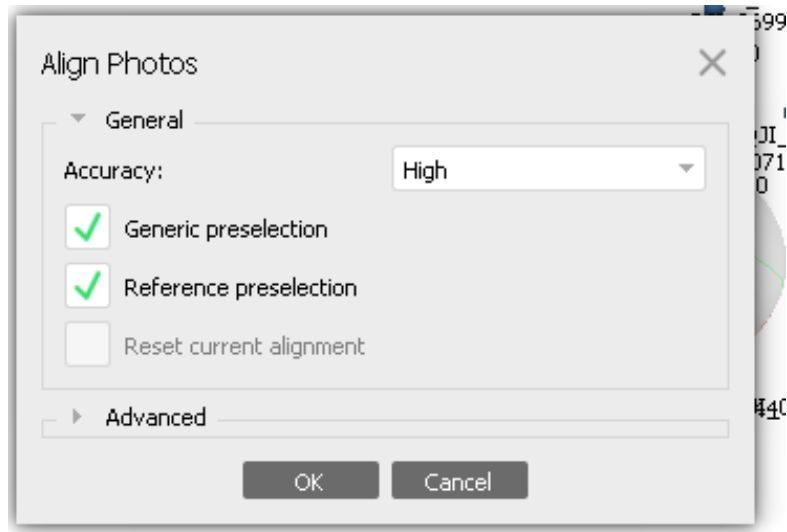
O primeiro passo consiste em inserir as imagens do voo. Isso é feito através da opção *Workflow*, selecionando a ferramenta *Add photos*. A Figura 17 ilustra o processo descrito.

Figura 17: Seleção das imagens



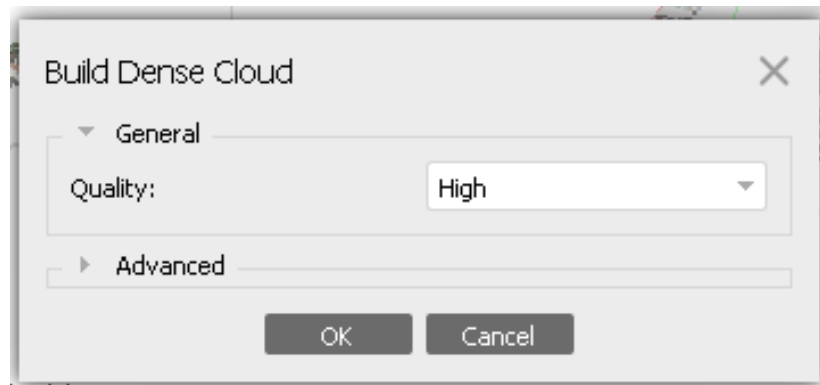
Fonte: O autor (2022).

Com as imagens inseridas, é realizado o alinhamento das fotos com a utilização da ferramenta *align fotos*, que também está na opção *Workflow*. A figura 18 ilustra o processo descrito.

Figura 18: *Align photos*

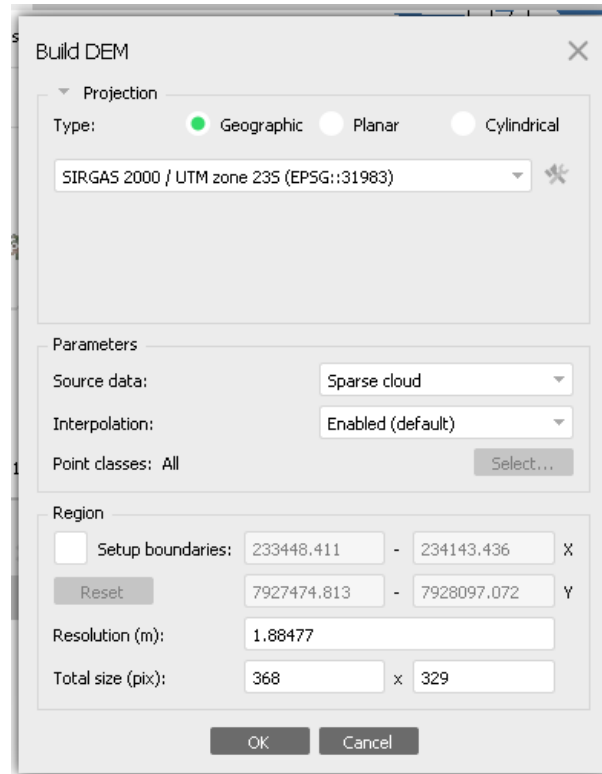
Fonte: O autor (2022).

Finalizado o processo de alinhamento, na mesma opção *Workflow* tem-se a ferramenta *Build Dense Cloud*. A Figura 19 ilustra o processo descrito.

Figura 19: *Build Dense Cloud*

Fonte: O autor (2022).

Finalizado o *Build Dense Cloud*, na mesma opção *Workflow* tem-se a ferramenta *Build DEM*. Ao clicar nela, se abrirá uma janela para que o usuário indique o sistema de coordenadas de saída e o processamento será realizado. A Figura 20 ilustra o processo descrito.

Figura 20: *Build DEM*

Fonte: O autor (2022).

Finalizado o *Build DEM*, na mesma opção *Workflow* temos a ferramenta *Build Orthomosaic*, na qual o usuário executa o processo para a geração da ortofoto. A Figura 21 ilustra o processo descrito. Ao final desta etapa será apresentada ao usuário a ortofoto pronta e sua visualização no software.

Figura 21: *Build Orthomosaic*

Build Orthomosaic

Projection

Type: Geographic Planar Cylindrical

SIRGAS 2000 / UTM zone 235 (EPSG::31983)

Parameters

Surface: DEM

Blending mode: Mosaic (default)

Refine seamlines

Enable hole filling

Enable back-face culling

Pixel size (m): 0.0435932 X

Metres... 0.0435932 Y

Max. dimension (pix): 4096

Region

Setup boundaries: [] - [] X

Estimate [] - [] Y

Total size (pix): [] x []

OK Cancel

Fonte: O autor (2022).

6.7 Passo a Passo processamento PIX4D

O primeiro passo para o processamento dos dados no software PIX4D é a criação de um novo projeto. Para realizar essa função, vá na opção *Project* e em seguida, clique na ferramenta *New Project*, na janela que se abrirá, o usuário nomeará o projeto e definirá onde o mesmo será salvo. A Figura 22 ilustra o processo descrito.

Figura 22: New Project

← New Project

This wizard creates a new project file.
Select a type, a name and a directory location for your project.

Aerial nadir (generate point cloud, DSM and orthomosaic)

Alternative processing mode
(for planar surface images with low texture and very accurate georeferencing)

Aerial oblique or terrestrial (generate point cloud only)

Name:

Create in:

Use as default project location

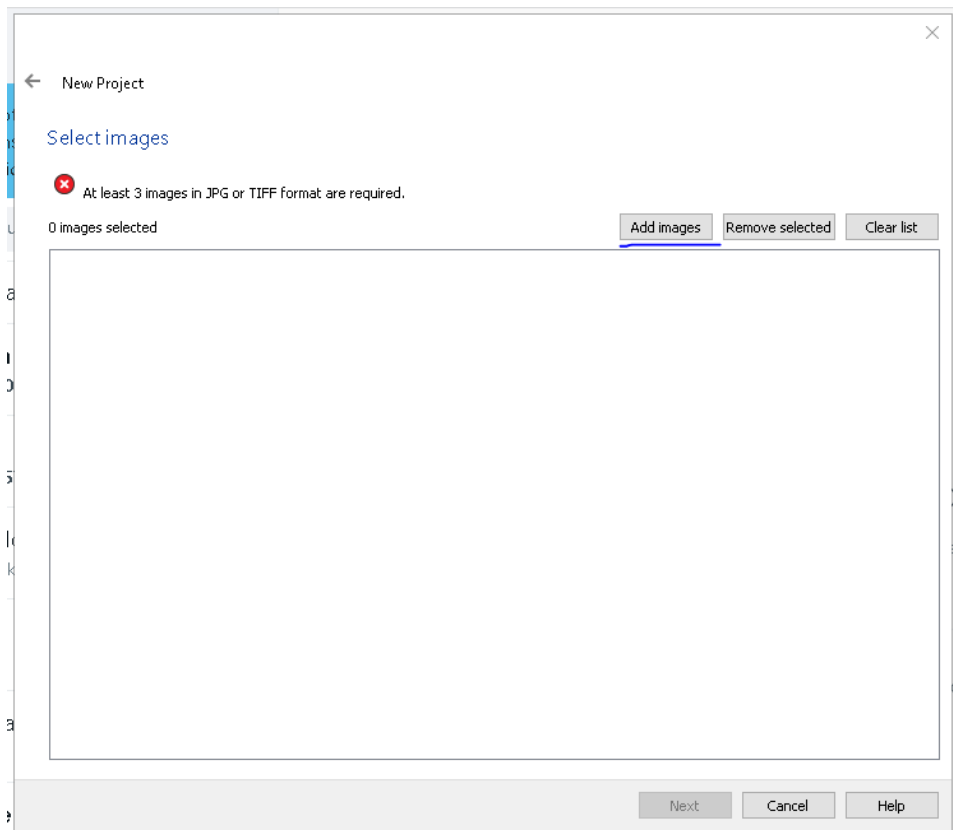
New project

Create a new project by merging existing projects

Fonte: O autor (2022).

Em seguida, clique em *Next*, o comando abrirá uma janela onde será possível executar a adição das fotos, faça isso utilizando o comando *Add images* presente na janela. A Figura 23 ilustra o processo descrito.

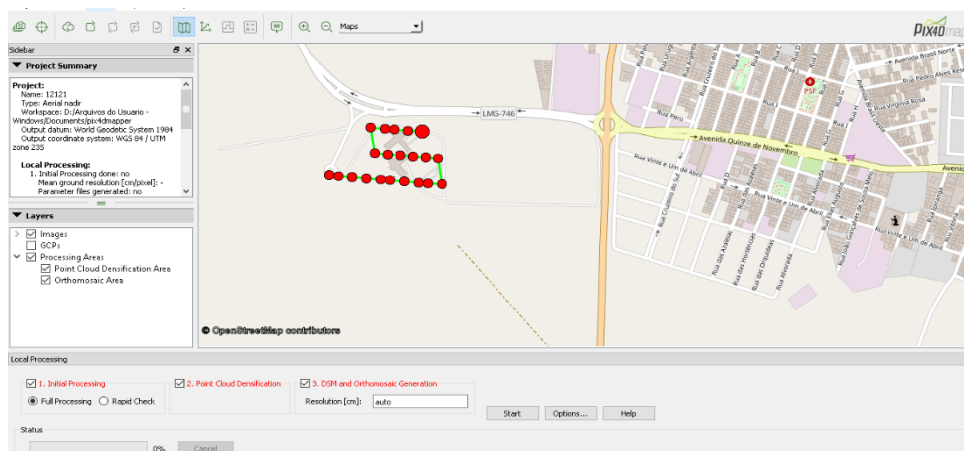
Figura 23: Local para a inserção das imagens



Fonte: O autor (2022).

A próxima etapa consiste em realizar a escolha do sistema de coordenadas, após esse passo, clique em *Next* e logo após em *Finish* para avançar no processamento. A Figura 24 ilustra como ficará a janela do software após o passo descrito.

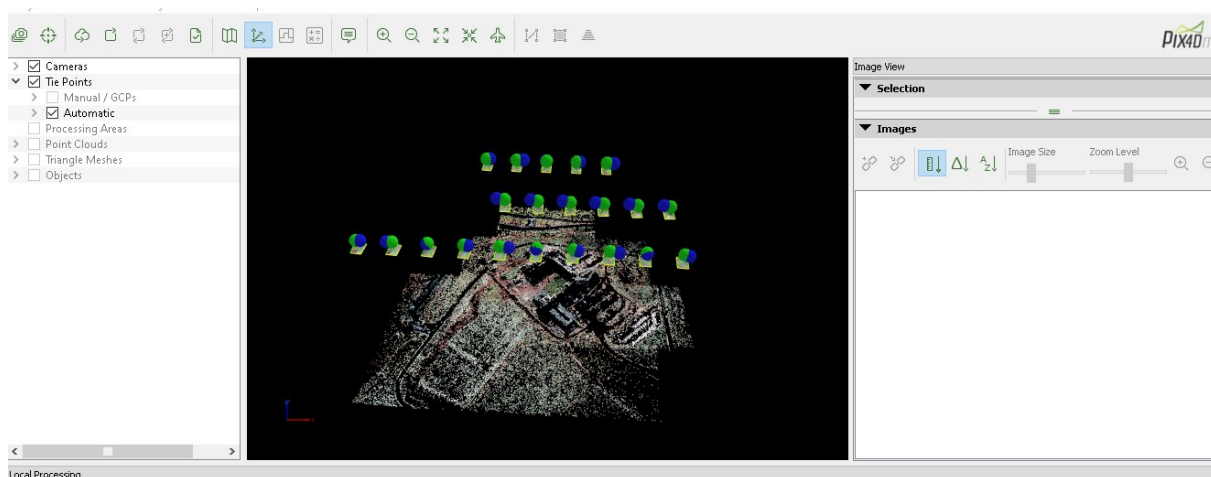
Figura 24: Tela do software após o final do processamento



Fonte: O autor (2022).

Na janela mostrada na Figura 24, o usuário irá clicar na opção Start para que se inicie o processamento, esta tarefa poderá demandar um tempo considerável a depender do número de imagens a ser processado. Terminada a tarefa anterior, o software gerará um relatório de processamento e disponibiliza para download, os produtos gerados, dentre eles, a ortofoto. A figura 25 ilustra o layout do software ao final do processamento.

Figura 25: Tela final do PIX4D



Fonte: O autor (2022).

6.8 Comparação dos Resultados

Esta etapa do trabalho consistiu na comparação dos resultados (ortofotos) gerados pelos diferentes *softwares*. Para isso foi utilizado o software GeoPEC, que comparou as coordenadas de checagem coletadas em campo com as coordenadas coletadas diretamente na ortofoto. Esse processo foi necessário para que se obtivesse o PEC das ortofotos, classificando as mesmas dentro das classes citadas no texto e sendo possível assim, a comparação destes resultados. O intuito desta comparação foi demonstrar que os resultados gerados pelos diferentes *softwares* apresentassem um padrão satisfatório de qualidade.

6.9 Comparativo de Valores

Para realizar esse comparativo, primeiramente foi verificado quais seriam os requisitos mínimos de processamento do computador, pois este fator influencia diretamente no valor final de cada um dos três *softwares* que serão testados, estes requisitos podem ser vistos nas seções 6.1, 6.2 e 6.3 do presente trabalho. Para a elaboração do comparativo apresentado abaixo, foi

considerado um computador com os requisitos médios (processador, memória RAM, CPU e sistema operacional) para que cada um dos 3 *softwares* funcione satisfatoriamente. Esse comparativo é ilustrado na Tabela 13.

Tabela 13: Comparativo de Valores

	PIX4D	Metashape	OpenDroneMap
Licença	R\$ 26.447,00	R\$ 19.000,00	Grátis
Computador	R\$ 4.500	R\$ 5.000	R\$ 1.500
ARP	R\$ 20.000	R\$ 20.000	R\$ 20.000
Total	R\$ 50.947,00	R\$ 44.000,00	R\$ 21.500,00

Fonte: O autor (2022).

Como podemos observar na Tabela 13, houve uma diferença de mais de R\$20.000,00 ao consideramos o software gratuito em comparação aos *softwares* pagos, tornando-o desta forma uma excelente opção para sua utilização como ferramenta de processamento de imagens.

7. RESULTADOS

O intuito do presente trabalho foi a comparação de qualidade dos produtos gerados pelos 3 diferentes *softwares* já citados, sendo um de licença gratuita e dois com licenças pagas. Para a geração das ortofotos, foram coletados em campo as coordenadas de 34 pontos, sendo 18 pontos de controle e 16 pontos de checagem, o sistema de coordenadas utilizado é o SIRGAS 2000 UTM ZONA 23S. As coordenadas coletadas estão enumeradas na Tabela 14.

Tabela 14: Coordenadas coletadas

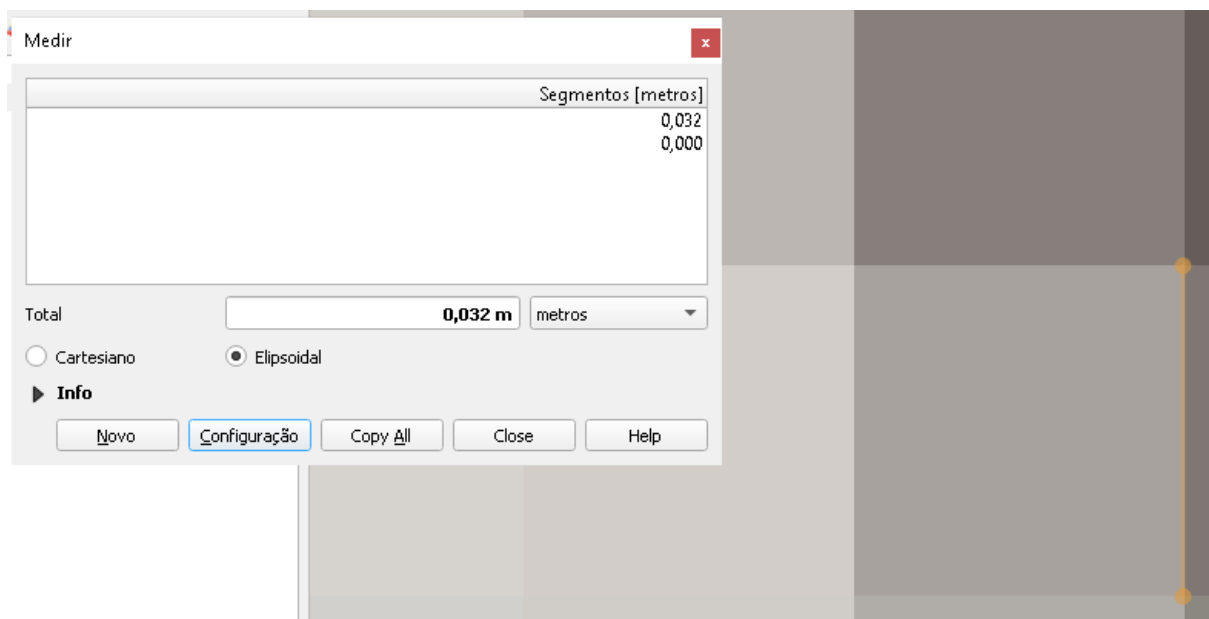
Pontos					
Controle			Checagem		
ID	E	N	ID	E	N
1	233880,471	7927900,773	1	233953,712	7927855,885
2	233949,349	7927854,49	2	233958,936	7927707,9
3	233924,413	7927715,466	3	233973,989	7927611,839
4	233983,112	7927599,702	4	233974,151	7927483,055
5	233989,996	7927476,765	5	234063,962	7927382,328
6	234024,704	7927429,33	6	234044,57	7927246,674
7	234013,111	7927272,088	7	233922,561	7927362,424
8	233929,758	7927363,979	8	233829,265	7927528,462
9	233823,592	7927502,224	9	233824,862	7927597,87
10	233822,579	7927595,477	10	233708,566	7927471,661
11	233735,522	7927534,373	11	233632,317	7927616,821
12	233703,792	7927463,636	12	233721,063	7927616,203
13	233641,597	7927623,206	13	233685,357	7927726,284
14	233727,555	7927618,473	14	233732,104	7927832,612
15	233650,892	7927740,353	15	233782,998	7927803,382
16	233737,156	7927839,43	16	233848,547	7927707,263
17	233785,908	7927797,055			
18	233842,664	7927709,305			

Fonte: O autor (2022)

7.1 WebODM

Para o processamento neste software, foi utilizado um desktop preparado com 20GB de memória RAM, pois este é o requisito principal exigido pelo software. Por esse motivo que foi necessário a utilização de dois computadores diferentes para a realização deste trabalho. A Figura 26 ilustra o tamanho do pixel resultante (GSD) do processamento no WebODM, que foi medido com o auxílio do software QGIS utilizando a ferramenta *linha*.

Figura 26: Tamanho do Pixel no WebODM



Fonte: O autor (2022)

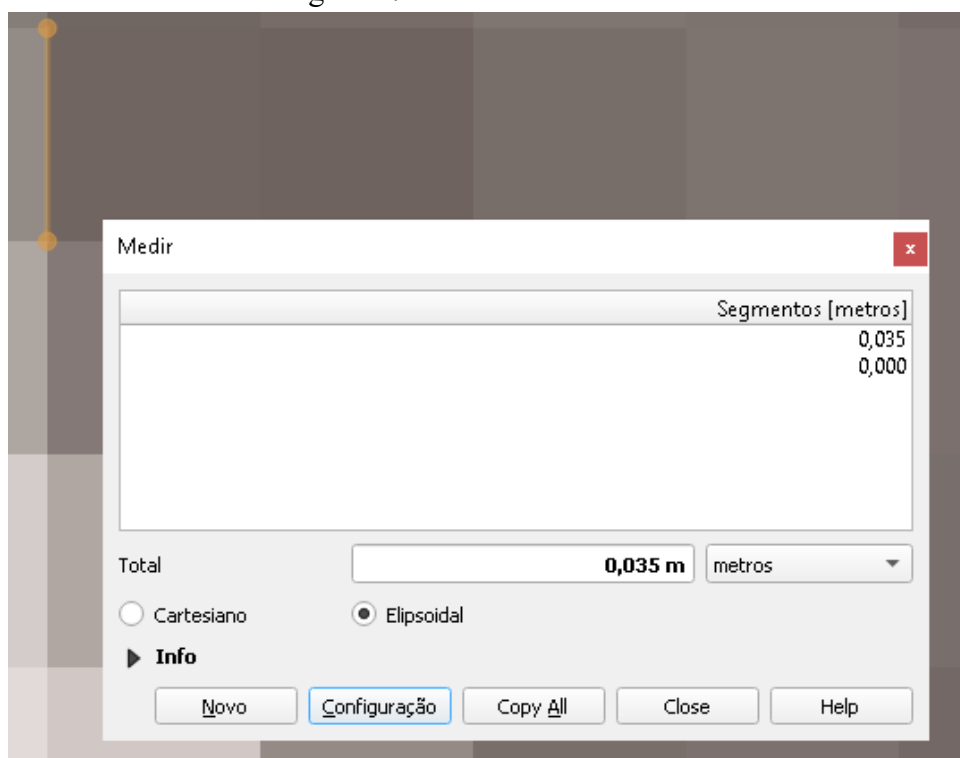
A classificação da ortofoto quanto ao Padrão de Exatidão Cartográfica foi realizada no software GeoPEC, que resultou como “Acurada para a escala 1:1.000”, e o padrão de qualidade atribuída para a ortofoto foi de Classe A.

A análise de tendência e precisão a qual o produto foi submetido, teve por resultado “Preciso” e “Não há Tendência”. A Raiz Quadrada do Erro Médio Quadrático para as discrepâncias foi de 0,0925 metros. O relatório gerado na classificação contendo todas as informações de precisão, tendência e as discrepâncias entre os pontos de checagem utilizados se encontra no Anexo B.

7.2 PIX4D

Para o processamento foi utilizado um laptop com as seguintes configurações: Intel Core i5, 8GB RAM, SSD 220GB e sistema operacional Windows 10. A Figura 27 ilustra o tamanho do pixel resultante (GSD) do processamento no PIX4D, que foi medido com o auxílio do software QGIS utilizando a ferramenta *linha*.

Figura 27: Tamanho do Pixel no PIX4D



Fonte: O Autor (2022).

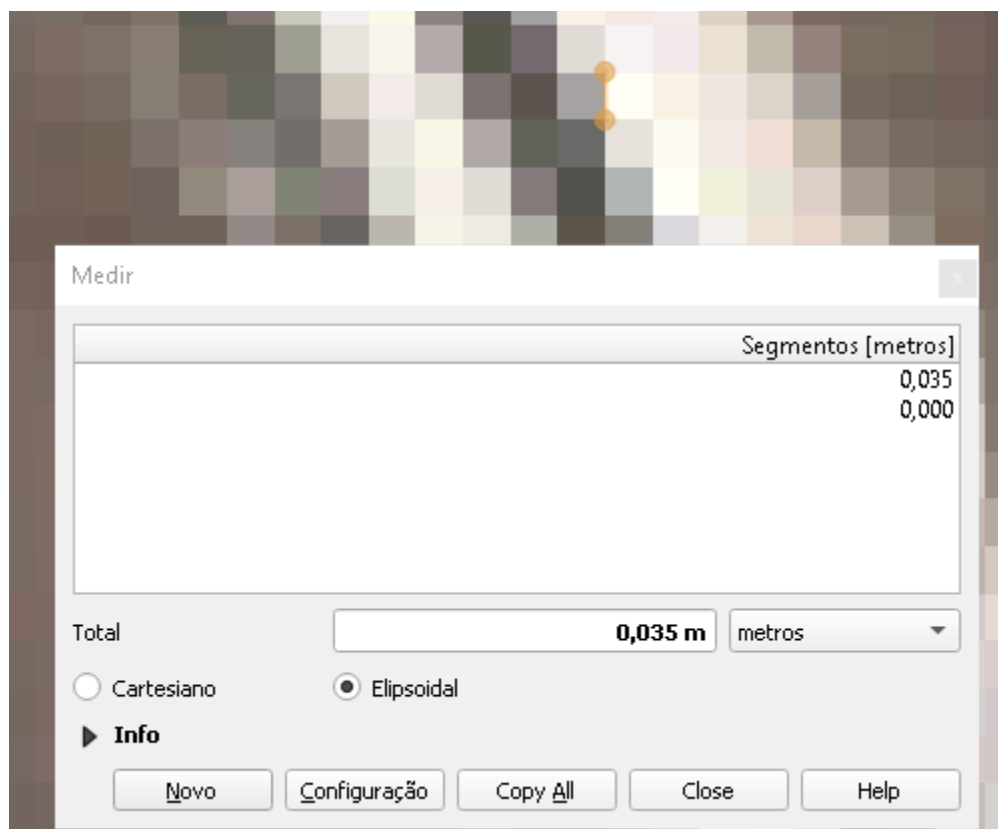
A classificação da ortofoto quanto ao Padrão de Exatidão Cartográfica foi realizada no software GeoPEC, que resultou como “Acurada para a escala 1:1.000”, a qualidade atribuída para a ortofoto foi de Classe A.

A análise de tendência e precisão a qual o produto foi submetido, teve por resultado “Preciso” e “Não há Tendência”. A Raiz Quadrada do Erro Médio Quadrático para as discrepâncias foi de 0,0329 metros. O relatório gerado na classificação contendo todas as informações de precisão, tendência e as discrepâncias entre os pontos de checagem utilizados se encontra no Anexo F.

7.3 Metashape

Para o processamento foi utilizado um laptop com as seguintes configurações: Intel Core i5, 8GB RAM, SDD 220GB e sistema operacional Windows 10. A Figura 28 ilustra o tamanho do pixel resultante (GSD) do processamento no Metashape, que foi medido com o auxílio do software QGIS utilizando a ferramenta *linha*.

Figura 28: Tamanho do Pixel no Metashape



Fonte: O autor (2022)

A classificação da ortofoto quanto ao Padrão de Exatidão Cartográfica foi realizada no software GeoPEC, que resultou como “Acurada para a escala 1:1.000”, a qualidade atribuída para a ortofoto foi de Classe A.

A análise de tendência e precisão a qual o produto foi submetido, teve por resultado “Preciso” e “Não há Tendência”. A Raiz Quadrada do Erro Médio Quadrático para as discrepâncias foi de 0,0259 metros. O relatório gerado na classificação contendo todas as informações de precisão, tendência e as discrepâncias entre os pontos de checagem utilizados se encontra no Anexo D.

8. CONCLUSÃO

Após os processamentos de todos os *softwares* apresentados no presente trabalho, foi possível visualizar que todas as 3 ortofotos geradas obtiveram um Padrão de Exatidão Cartográfica Classe A, não apresentaram tendência e são precisos para uma escala de 1:1.000. Ao consideramos a RMS (Raiz Quadrada do Erro Médio Quadrático), o software Metashape foi o que alcançou uma melhor precisão (0,0259 metros), seguido pelo software PIX4D (0,0329 metros) e por último, o software WebODM (0,0925 metros).

Mesmo o software WebODM atingindo uma menor precisão em RMS se comparado aos *softwares* comerciais, ele também obteve um padrão de exatidão Classe A e foi acurado para uma escola de 1:1.100, demonstrando assim que apesar de ser uma aplicação gratuita, atingiu um resultado tão satisfatório quanto o de um software pago. Sendo assim, podemos concluir que a utilização por usuários de fotogrametria do software WebODM para o processamento de imagens oferece um resultado que pode ser utilizado normalmente em qualquer tipo de aplicação profissional.

9. REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY(ASP). Manual of Photogrammetry, 1966, 1220p.

BARBOSA, Eduardo de Magalhães et al. Integridade no posicionamento RTK e RTK em rede. Boletim de Ciências Geodésicas. Universidade Federal de Uberlândia (UFU), v. 16, n. 4, p. 589-605, 2010. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/6649>.

BOLOGNEZ, Anny Keli Aparecida Alves Cândido et al. Aeronaves Remotamente Pilotadas - RPA. In: BOLOGNEZ, Anny Keli Aparecida Alves Cândido. GEOTECNOLOGIAS PARA APLICAÇÕES AMBIENTAIS. Rondonópolis: Universidade Federal de Rondonópolis, 2020. Cap. 23. p. 351-372. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Dhonatan-Pessi-2/publication/348330925_Aeronaves_Remotamente_Pilotadas_-_RPA/links/5ff8535592851c13fef87065/Aeronaves-Remotamente-Pilotadas-RPA.pdf. Acesso em: 21 fev. 2022.

BRASIL. Departamento de Controle do Espaço Aéreo. Portaria Decea no 112/Dgcea, de 22 de Maio de 2020. nº 6.834. AERONAVES NÃO TRIPULADAS E O ACESSO AO ESPAÇO AÉREO BRASILEIRO. Relator: Diretor-Geral do DECEA HERALDO LUIZ RODRIGUES. Brasília, 2 jun. 2022. Disponível em: <https://publicacoes.decea.mil.br/api//storage/uploads/files/75a09bfd-5e5d-4f9a-b4485ccd3fd4627a.pdf>. Acesso em: 21 fev. 2022.

BRASIL, Decreto nº 89.817 de 20 de junho de 1984 – Normas Técnicas da Cartografia Nacional, Diário Oficial da União, Brasília, Brasil, 1984.

COELHO, L.; BRITO, J. N. Fotogrametria digital. EdUERJ, 2007.

DJI (China) (ed.). PHANTOM 4ADVANCED. 2022. Disponível em: <https://www.dji.com/br/phantom-4-adv/info>. Acesso em: 10 fev. 2022.

EMBRATOP (São Paulo) (ed.). TOPCON HIPER V. 2022. Disponível em: <https://www.embratop.com.br/topcon-hiper-v>. Acesso em: 11 fev. 2022.

FERREIRA, Alexandre Moreno Richwin. AVALIAÇÃO DE CÂMARA DE PEQUENO FORMATO TRANSPORTADA POR VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO – VANT, PARA USO EM AEROLEVANTAMENTOS. 2014. 93 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestre em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Brasília, Brasília - Df, 2014. Cap. 2. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/17305>. Acesso em: 21 fev. 2022.

INCRA. Norma Técnica para Georreferenciamento de Imóveis Rurais. 3 ed. INCRA, Brasília, 2013c. 4p.

INCRA. Manual Técnico de Posicionamento. Brasília, 2013a. 34p.

MONICO, João . Francisco. Galera. Posicionamento pelo GNSS: descrição, fundamentos e aplicações. Editora Unesp, 2008

OPENDRONEMAP AUTHORS ODM. OpenDroneMap. 2020. Disponível em: <https://www.opendronemap.org/>. Acesso em: 12 jan. 2022.

PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA CASA CIVIL. DECRETO Nº 89.817: REGULADORAS DAS NORMAS TÉCNICAS DA CARTOGRAFIA NACIONAL. Brasília - Df, 1984.. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1980-1989/d89817.htm. Acesso em: 12 maio 2022.

SANTOS, Afonso de Paula dos; RODRIGUES, Dalto Domingos; SANTOS, Nerilson Terra; GRIPP JUNIOR, Joel. 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, [S.L.], v. 22, n. 4, p. 630-650, dez. 2016. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1982-21702016000400036>.

TEMBA, Plínio. Fundamentos de Fotogrametria. UFMG, Belo Horizonte, 2000. Disponível em: <http://www.csr.ufmg.br/geoprocessamento/publicacoes/fotogrametria.pdf> Acesso em: 11 fev. 2022

TOMMASELLI, Antonio Maria Garcia. INTRODUÇÃO. In: TOMMASELLI, Antonio Maria Garcia. **Fotogrametria Básica**. São Paulo: Unesp, 2009. p. 1-10

WOLF, P.; DEWITT, B.; Wilkinson, B. Elements of Photogrammetry: with applications in GIS (Vol. 3). New York: McGraw-Hill. 2000

ANEXO A - RELATÓRIO DE PROCESSAMENTO WEBODM

ODM Quality Report

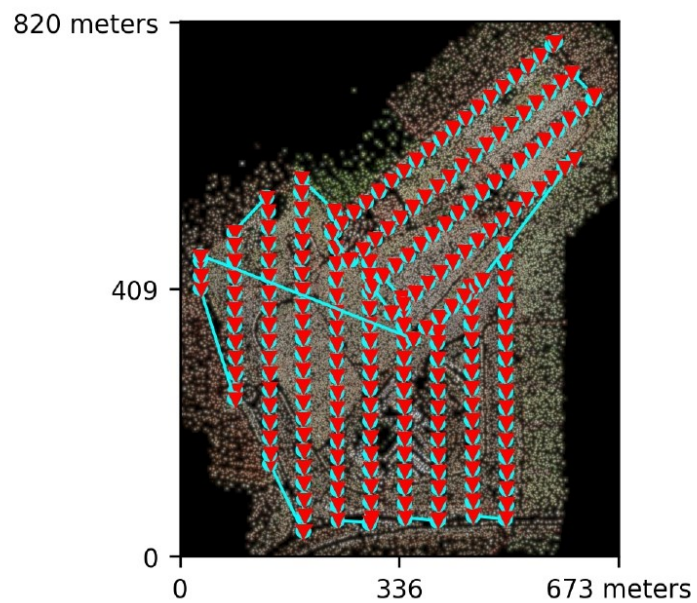
Processed with ODM version 2.8.4

Dataset Summary

Date	03/08/2022 at 14:22:36
Area Covered	0.453906 km ²
Processing Time	1.0h:31.0m:2.0s
Capture Start	24/06/2022 at 11:26:21
Capture End	24/06/2022 at 11:45:09

Processing Summary

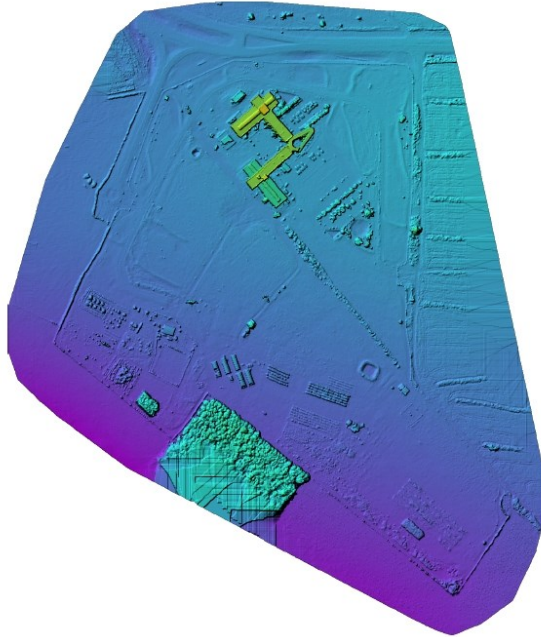
Reconstructed Images	243 over 243 shots (100.0%)
Reconstructed Points (Sparse)	707546 over 722946 points (97.9%)
Reconstructed Points (Dense)	52,844,913 points
Average Ground Sampling Distance (GSD)	3.5 cm
Detected Features	22,948 features
Reconstructed Features	10,019 features
Geographic Reference	GPS and GCP
GPS / GCP errors	89.78 / 0.21 meters



Previews



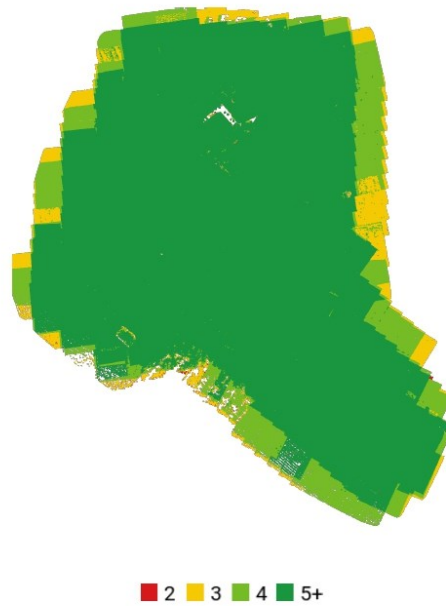
Orthophoto



Digital Surface Model



Survey Data



GPS/GCP/3D Errors Details

GPS	Mean	Sigma	RMS Error
X Error (meters)	-1.469	0.259	1.492
Y Error (meters)	-0.646	0.576	0.866
Z Error (meters)	89.762	0.849	89.766
Total			89.778

GCP	Mean	Sigma	RMS Error
X Error (meters)	-0.084	0.253	0.266
Y Error (meters)	-0.020	0.161	0.162
Z Error (meters)	0.066	0.428	0.433
Total			0.207

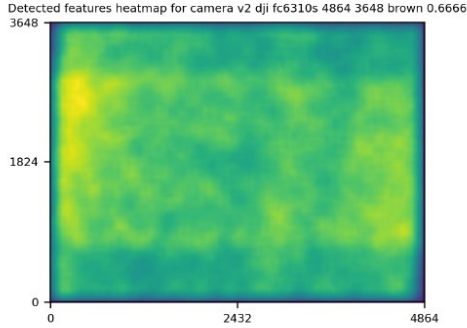
3D	Mean	Sigma	RMS Error
X Error (meters)	0.019	0.031	0.036
Y Error (meters)	0.016	0.029	0.033
Z Error (meters)	0.048	0.084	0.096
Total			0.057

	Absolute	Relative
Horizontal Accuracy CE90 (meters)	0.467	0.050
Vertical Accuracy LE90 (meters)	0.279	0.091

Ground Control Point Error

ID	Error X (m)	Error Y (m)	Error Z (m)
GCP-0	0.003	0.015	0.008
GCP-1	-0.954	0.288	-0.508
GCP-2	-0.010	0.033	-0.051
GCP-3	0.003	-0.018	0.030
GCP-4	-0.001	-0.008	-0.003
GCP-5	-0.010	-0.014	0.010
GCP-6	-0.003	0.018	-0.004
GCP-7	0.005	-0.008	0.005
GCP-8	-0.008	0.026	-0.007
GCP-9	0.110	-0.081	0.004
GCP-10	-0.531	-0.595	1.710
GCP-11	-0.014	-0.010	-0.040
GCP-12	-0.016	0.009	-0.039
GCP-13	-0.001	0.014	0.013
GCP-14	-0.010	-0.003	0.025
GCP-15	0.007	-0.015	-0.034
GCP-16	-0.006	0.007	-0.001

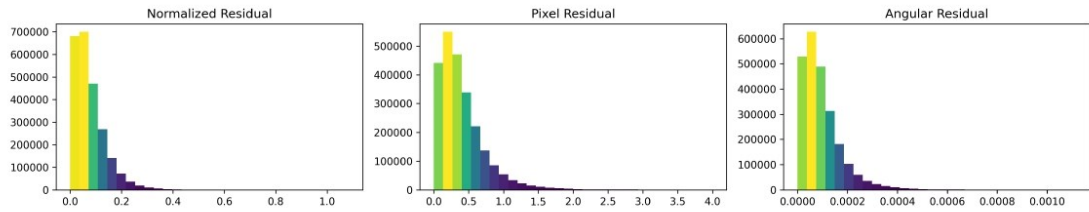
Features Details



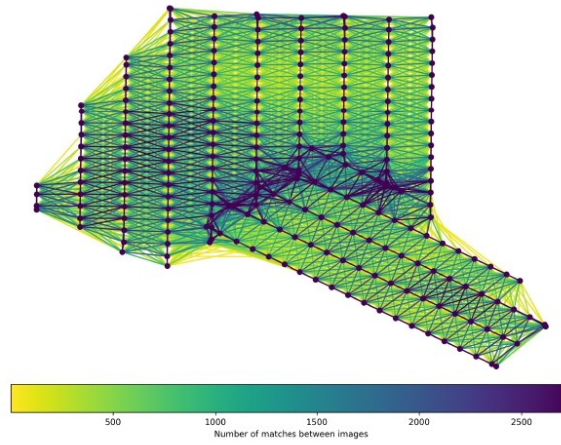
	Min.	Max.	Mean	Median
Detected	10050	47522	24477	22948
Reconstructed	4194	19505	9979	10019

Reconstruction Details

Average Reprojection Error (normalized / pixels / angular)	0.08 / 0.41 / 0.00010
Average Track Length	3.43 images
Average Track Length (> 2)	5.03 images



Tracks Details

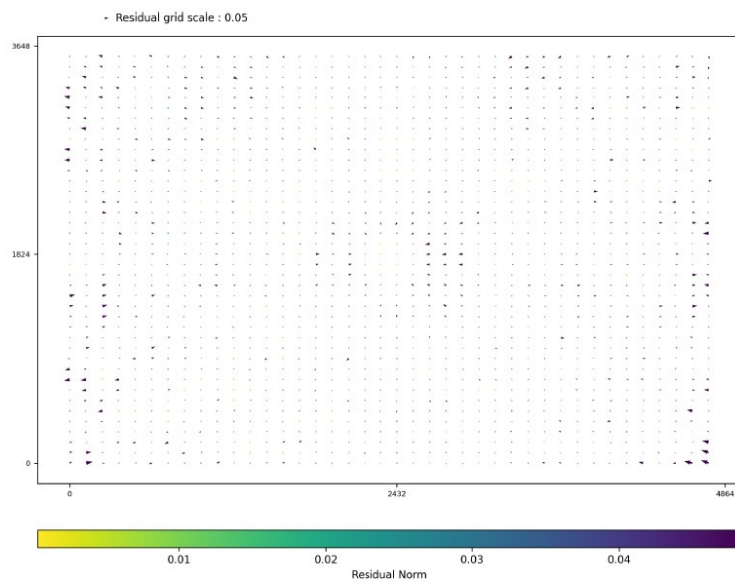


Length	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Count	374341	131048	66156	40552	26084	18760	13896	10169	7495

Camera Models Details

v2 dji fc6310s 4864 3648 brown 0.6666

	k1	k2	k3	p1	p2	focal	aspect_ratio	cx	cy
Initial	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.6667	1.0000	0.0000	0.0000
Optimized	-0.0005	-0.0153	0.0149	0.0021	0.0000	0.7256	1.0000	0.0009	0.0082



ANEXO B - RELATÓRIO DA CLASSIFICAÇÃO GEOPEC WEBODM

GeoPEC

Avaliação do Padrão de Acurácia Posicional em Dados Espaciais

RELATÓRIO DE PROCESSAMENTO

(completo)

DADOS DO PRODUTO

Produto: Web odm - Geopec
Local: UFU - Monte Carmelo
Data: 04/08/22
Responsável Técnico: Gabriel Matheus

CLASSIFICAÇÃO FINAL DO PRODUTO

Padrão de acurácia utilizado: Decreto n. 89.817/1984 - Análise Planimétrica
Metodologia: Santos et al. (2016) com as tolerâncias PEC-PCD da ET-CQDG

O produto "Web odm - Geopec 04-08", É **ACURADO** para a escala de **1/1000**. O resultado do PEC-PCD foi "**Classe A**", de acordo com o Decreto n. 89.817 de 20 de junho de 1984, que regulamenta as normas cartográficas brasileiras, aliada às tolerâncias da ET-CQDG. O produto foi submetido a análise de tendência e precisão em suas componentes posicionais, onde os resultados foram: É **Preciso** e **Não há Tendência**.

Pontos de checagem utilizados: 16
RMS das discrepâncias (m): 0,0925

INFORMAÇÕES GERAIS

Padrão de acurácia utilizado: **Decreto n. 89.817/1984**
Análise Planimétrica

PROCESSAMENTO

Escala de Referência: 1/1000

Pontos de checagem inseridos: 16
 Pontos de checagem utilizados: 16

.....
 OUTLIERS

>> Outliers detectados: 0
 >> Valor limite - detecção: 0,9

.....
 ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS

>> Média(E)= -0,0174 Média(N)= 0,0058 Média(ABS)= 0,0836
 >> Desv-pad(E)= 0,0745 Desv-pad(N)= 0,0567 Desv-pad(ABS)= 0,0407
 >> RMS(E)= 0,0742 RMS(N)= 0,0551 RMS(ABS)= 0,0925

.....
 PADRÃO DE DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL

>> Vizinho mais próximo:
 :: Área (m²) = 234000
 :: 1ª ordem - R= 1,7241 Zcalc= 5,5409 Ztab= 1,96
 Resultado = Padrão DISPERSO - (significativo estatisticamente) - 95%
 :: 2ª ordem - R= 1,4254 Zcalc= 4,688 Ztab= 1,96
 Resultado = Padrão DISPERSO - (significativo estatisticamente) - 95%
 :: 3ª ordem - R= 1,3235 Zcalc= 4,4004 Ztab= 1,96
 Resultado = Padrão DISPERSO - (significativo estatisticamente) - 95%

.....
 TESTE DE NORMALIDADE

>> Teste de Normalidade Shapiro-Wilk :
 Wcalc(E)= 0,9795 Wcalc(N)= 0,9648
 p-value(E)= 0,9592 p-value(N)= 0,7488
 Nível de Confiança = 95%
 Amostra Normal

.....
 TESTE DE PRECISÃO

>> Decreto 89.817:
 PEC= 0,28 EP= 0,17
 Resultado: Classe A

.....
 TESTE DE TENDÊNCIA

>> Teste t de Student
 tcalc(E)= -0,9342 tcalc(N)= 0,4092 ttab= 1,753
 Resultado: Não Tendencioso

>> Estatística Espacial

Média Direcional (Azimute)= 261,2239 Variância Circular= 0,8572
 Resultado: Não Tendencioso

.....

DISCREPÂNCIAS - PONTOS DE CHECAGEM

ID	di(E)	di(N)	di(ABS)
1	0,003	-0,085	0,0851
10	-0,013	0,103	0,1038
11	0,098	0,037	0,1048
12	-0,026	0,052	0,0581
13	0,059	-0,003	0,0591
14	0,114	-0,08	0,1393
15	0,011	-0,042	0,0434
16	0,023	-0,007	0,024
2	0,013	-0,072	0,0732
3	-0,015	-0,031	0,0344
4	-0,083	0,017	0,0847
5	-0,096	0,022	0,0985
6	-0,174	0,074	0,1891
7	-0,045	0,073	0,0858
8	-0,095	0,007	0,0953
9	-0,052	0,027	0,0586

ANEXO C - RELATÓRIO DE PROCESSAMENTO METASHAPE

Agisoft Metashape

Processing Report
10 September 2022



Survey Data

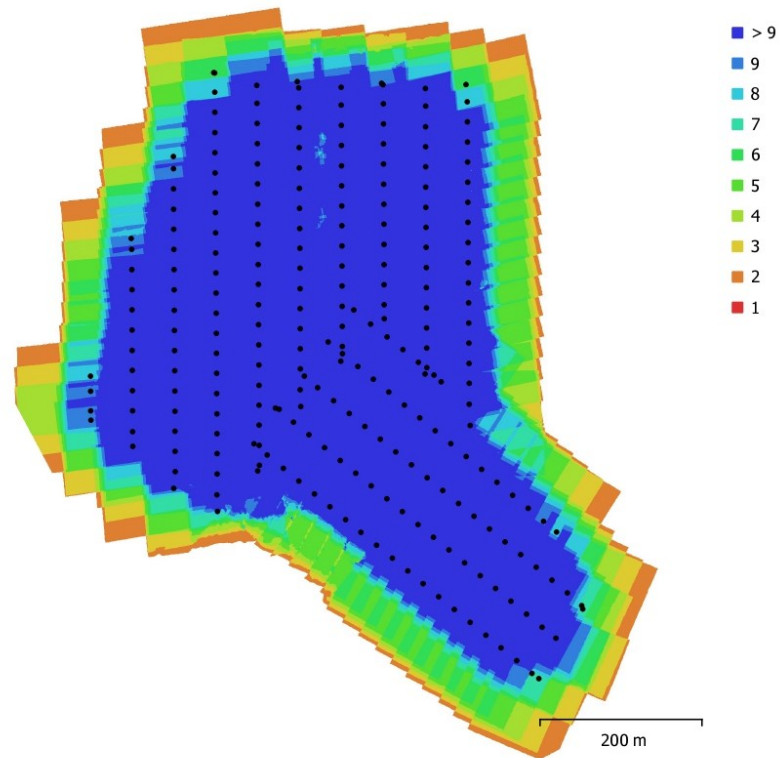


Fig. 1. Camera locations and image overlap.

Number of images:	243	Camera stations:	243
Flying altitude:	123 m	Tie points:	238,158
Ground resolution:	3.54 cm/pix	Projections:	982,176
Coverage area:	0.45 km ²	Reprojection error:	0.41 pix

Camera Model	Resolution	Focal Length	Pixel Size	Precalibrated
FC6310S (8.8mm)	4864 x 3648	8.8 mm	2.61 x 2.61 μm	No

Table 1. Cameras.

Camera Calibration

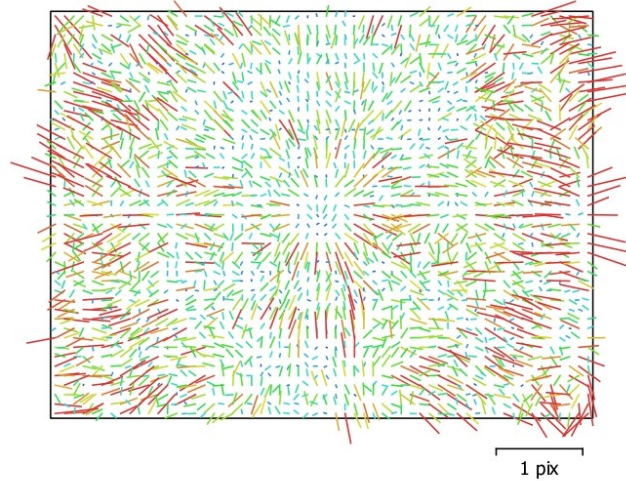


Fig. 2. Image residuals for FC6310S (8.8mm).

FC6310S (8.8mm)

243 images

Type Resolution Focal Length Pixel Size
Frame 4864 x 3648 8.8 mm 2.61 x 2.61 μ m

	Value	Error	F	Cx	Cy	B1	B2	K1	K2	K3	K4	P1	P2	P3	P4
F	3084.39	2	1.00	0.73	-0.35	-0.05	0.07	0.28	-0.67	0.77	-0.81	-0.05	0.39	0.00	0.05
Cx	-7.29145	0.068		1.00	-0.24	-0.10	0.10	0.21	-0.49	0.56	-0.60	0.07	0.29	0.00	0.04
Cy	43.1216	0.04			1.00	-0.05	-0.10	-0.10	0.24	-0.27	0.29	-0.01	0.01	-0.09	0.05
B1	0.116013	0.0055				1.00	-0.00	-0.00	0.02	-0.03	0.03	0.02	-0.03	0.00	-0.00
B2	-0.0993698	0.0056					1.00	0.02	-0.05	0.06	-0.06	0.02	0.03	0.00	0.00
K1	0.00932991	3.5e-005						1.00	-0.88	0.79	-0.72	-0.01	0.11	0.01	0.00
K2	-0.049111	0.00019							1.00	-0.98	0.96	0.03	-0.26	-0.01	-0.02
K3	0.0705141	0.00036								1.00	-0.99	-0.04	0.29	0.01	0.02
K4	-0.0337725	0.00022									1.00	0.04	-0.30	-0.02	-0.02
P1	5.1881e-005	1.2e-006										1.00	-0.01	-0.03	0.03
P2	0.00177291	3.1e-006											1.00	-0.78	0.70
P3	-0.0308076	0.0046												1.00	-0.97
P4	0.102469	0.0042													1.00

Table 2. Calibration coefficients and correlation matrix.

Camera Locations

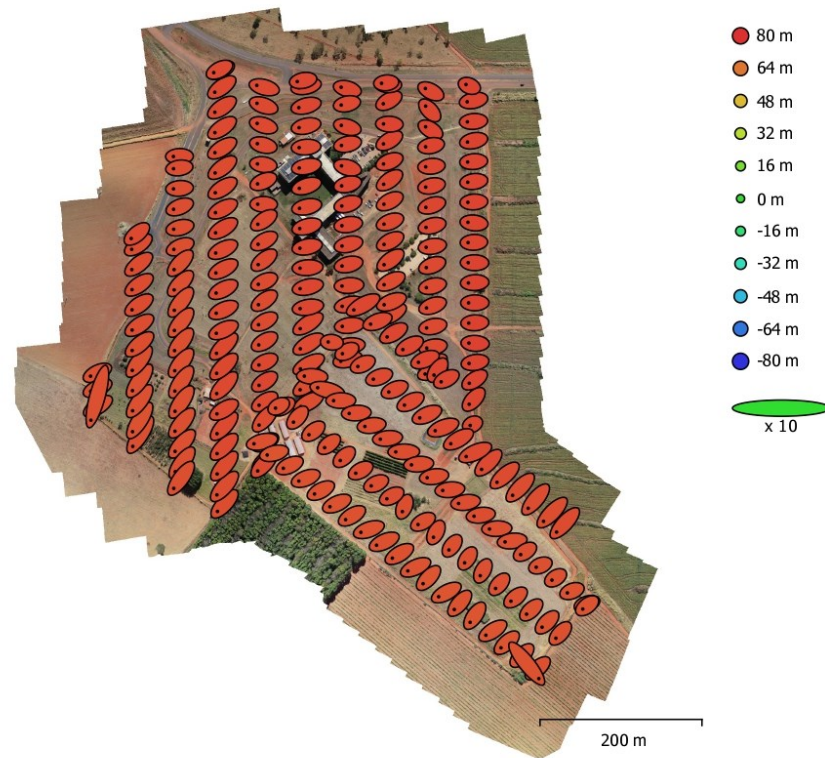


Fig. 3. Camera locations and error estimates.
 Z error is represented by ellipse color. X,Y errors are represented by ellipse shape.
 Estimated camera locations are marked with a black dot.

X error (m)	Y error (m)	Z error (m)	XY error (m)	Total error (m)
1.59416	1.1214	74.0439	1.94907	74.0696

Table 3. Average camera location error.
 X - Easting, Y - Northing, Z - Altitude.

Ground Control Points

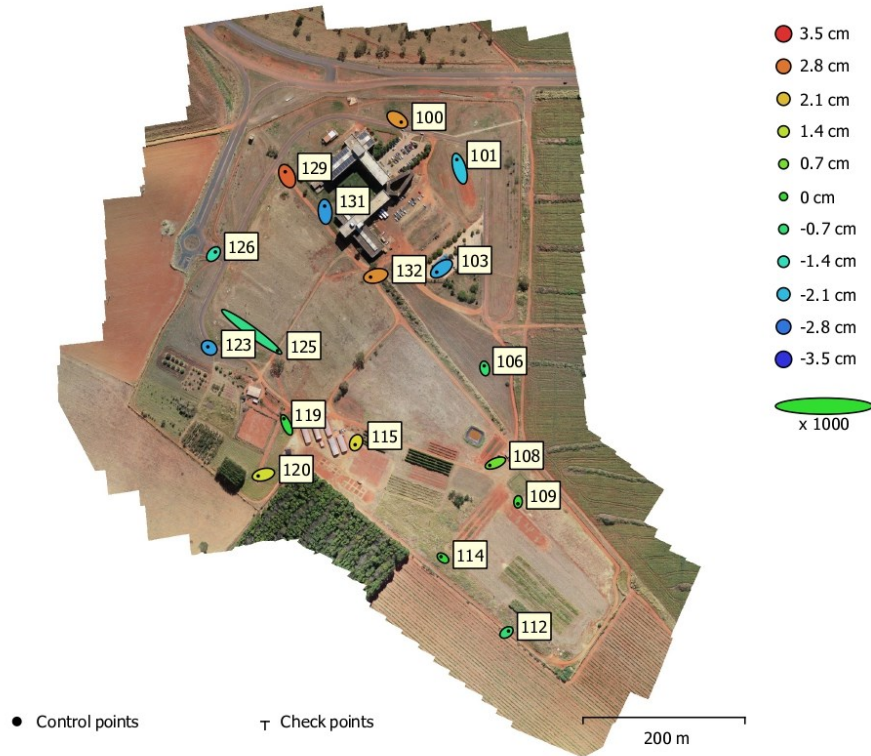


Fig. 4. GCP locations and error estimates.

Z error is represented by ellipse color. X,Y errors are represented by ellipse shape.
Estimated GCP locations are marked with a dot or crossing.

Count	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	XY error (cm)	Total (cm)
17	1.7168	1.44241	1.74999	2.24231	2.84436

Table 4. Control points RMSE.

X - Easting, Y - Northing, Z - Altitude.

Label	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	Total (cm)	Image (pix)
100	0.939455	-0.623249	2.48782	2.73135	1.030 (18)
101	-0.670113	2.2505	-1.99345	3.08021	0.963 (17)
103	-1.17588	-0.844378	-2.27422	2.69588	0.833 (20)
106	-0.124503	0.640463	-0.618893	0.89929	0.666 (18)
109	-0.0421454	-0.478245	0.131386	0.497752	0.446 (15)
112	0.490439	0.346557	-0.674206	0.902877	0.648 (10)
114	-0.466099	0.348588	-0.0800216	0.587507	0.531 (10)
115	-0.228501	-0.512547	1.81448	1.89928	0.718 (23)
119	-0.676534	1.52452	-0.165744	1.6761	0.552 (24)
120	-1.28937	-0.33113	1.6553	2.12418	0.985 (15)
123	-0.32373	0.240984	-2.34589	2.38035	1.273 (15)
125	6.3728	-4.66851	-0.86557	7.94712	1.613 (19)
126	0.460341	0.528268	-1.28131	1.46039	0.773 (15)
129	-0.473289	1.05704	3.00419	3.2197	1.128 (18)
131	-0.110176	1.40006	-2.43444	2.81049	0.900 (20)
132	-1.28498	-0.305851	2.56213	2.88257	1.071 (22)
108	-1.38837	-0.568129	0.628674	1.62652	0.702 (19)
Total	1.7168	1.44241	1.74999	2.84436	0.928

Table 5. Control points.
X - Easting, Y - Northing, Z - Altitude.

Digital Elevation Model

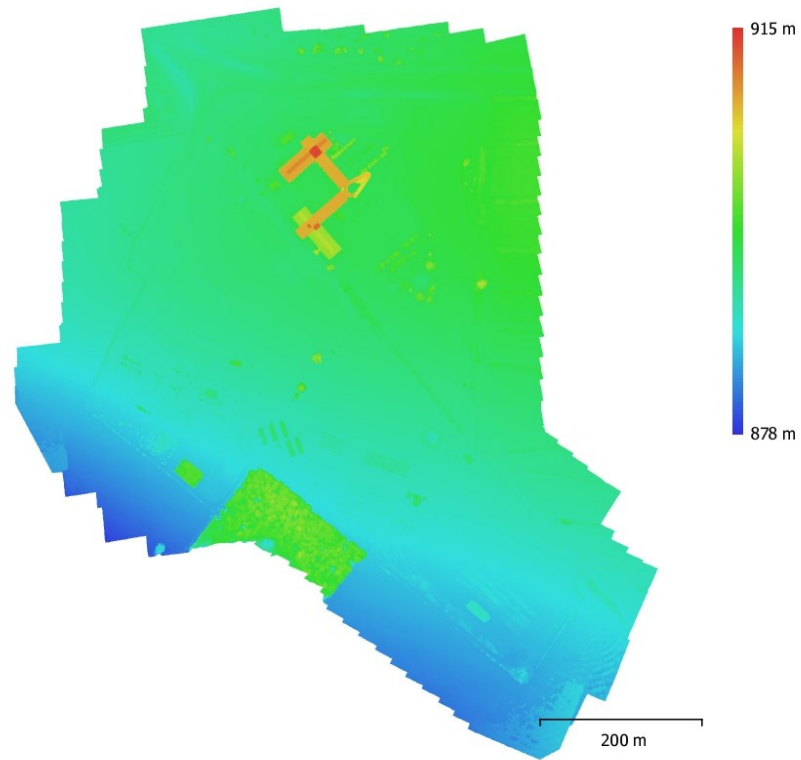


Fig. 5. Reconstructed digital elevation model.

Resolution: 7.07 cm/pix
Point density: 200 points/m²

Processing Parameters

General

Cameras	243
Aligned cameras	243
Markers	17
Coordinate system	WGS 84 / UTM zone 23S (EPSG::32723)
Rotation angles	Yaw, Pitch, Roll

Point Cloud

Points	238,158 of 247,046
RMS reprojection error	0.249974 (0.41042 pix)
Max reprojection error	2.45814 (19.3586 pix)
Mean key point size	1.60689 pix
Point colors	3 bands, uint8
Key points	No
Average tie point multiplicity	4.26478

Alignment parameters

Accuracy	Highest
Generic preselection	Yes
Reference preselection	Yes
Key point limit	40,000
Tie point limit	4,000
Adaptive camera model fitting	No
Matching time	54 minutes 18 seconds
Alignment time	10 minutes 27 seconds

Optimization parameters

Parameters	f, b1, b2, cx, cy, k1-k4, p1-p4
Adaptive camera model fitting	No
Optimization time	47 seconds
Software version	1.5.5.9057

Depth Maps

Count	243
Depth maps generation parameters	
Quality	High
Filtering mode	Mild
Processing time	21 hours 49 minutes
Software version	1.5.5.9057

Dense Point Cloud

Points	103,440,618
Point colors	3 bands, uint8
Depth maps generation parameters	
Quality	High
Filtering mode	Mild
Processing time	21 hours 49 minutes
Dense cloud generation parameters	
Processing time	2 hours 29 minutes
Software version	1.5.5.9057

DEM

Size	16,910 x 18,573
Coordinate system	WGS 84 / UTM zone 23S (EPSG::32723)

Reconstruction parameters

Source data	Dense cloud
-------------	-------------

General

Interpolation	Enabled
Processing time	11 minutes 56 seconds
Software version	1.5.5.9057

Orthomosaic

Size	22,511 x 26,281
Coordinate system	WGS 84 / UTM zone 23S (EPSG::32723)
Colors	3 bands, uint8

Reconstruction parameters

Blending mode	Mosaic
Surface	DEM
Enable hole filling	Yes
Processing time	21 minutes 32 seconds
Software version	1.5.5.9057

Software

Version	1.5.5 build 9057
Platform	Windows 64

ANEXO D- RELATÓRIO DA CLASSIFICAÇÃO GEOPEC METASHAPE

GeoPEC

Avaliação do Padrão de Acurácia Posicional em Dados Espaciais

RELATÓRIO DE PROCESSAMENTO

(completo)

DADOS DO PRODUTO

Produto: Geopec - Agisoft
Local: Campus UFU - Monte Carmelo
Data:
Responsável Técnico: Gabriel Matheus Costa

CLASSIFICAÇÃO FINAL DO PRODUTO

Padrão de acurácia utilizado: Decreto n. 89.817/1984 - Análise Planimétrica
Metodologia: Santos et al. (2016) com as tolerâncias PEC-PCD da ET-CQDG

O produto "Geopec - Agisoft", É **ACURADO** para a escala de **1/1000**. O resultado do PEC-PCD foi "**Classe A**", de acordo com o Decreto n. 89.817 de 20 de junho de 1984, que regulamenta as normas cartográficas brasileiras, aliada às tolerâncias da ET-CQDG.

O produto foi submetido a análise de tendência e precisão em suas componentes posicionais, onde os resultados foram: É **Preciso** e **Não há Tendência**.

Pontos de checagem utilizados: 16
RMS das discrepâncias (m): 0,0259

INFORMAÇÕES GERAIS

Padrão de acurácia utilizado: **Decreto n. 89.817/1984**
Análise Planimétrica

PROCESSAMENTO

Escala de Referência: 1/1000

Pontos de checagem inseridos: 16
 Pontos de checagem utilizados: 16

.....
 OUTLIERS

>> Outliers detectados: 0
 >> Valor limite - detecção: 0,9

.....
 ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS

>> Média(E)= -0,0091 Média(N)= 0,0039 Média(ABS)= 0,0234
 >> Desv-pad(E)= 0,0151 Desv-pad(N)= 0,0193 Desv-pad(ABS)= 0,0113
 >> RMS(E)= 0,0175 RMS(N)= 0,0189 RMS(ABS)= 0,0259

.....
 PADRÃO DE DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL

>> Vizinho mais próximo:
 :: Área (m²) = 234000
 :: 1ª ordem - R= 1,7241 Zcalc= 5,5409 Ztab= 1,96
 Resultado = Padrão DISPERSO - (significativo estatisticamente) - 95%
 :: 2ª ordem - R= 1,4254 Zcalc= 4,688 Ztab= 1,96
 Resultado = Padrão DISPERSO - (significativo estatisticamente) - 95%
 :: 3ª ordem - R= 1,3235 Zcalc= 4,4004 Ztab= 1,96
 Resultado = Padrão DISPERSO - (significativo estatisticamente) - 95%

.....
 TESTE DE NORMALIDADE

>> Teste de Normalidade Shapiro-Wilk :
 Wcalc(E)= 0,9597 Wcalc(N)= 0,8866
 p-value(E)= 0,6568 p-value(N)= 0,0492
 Nível de Confiança = 95%
 Amostra NÃO Normal

.....
 TESTE DE PRECISÃO

>> Decreto 89.817:
 PEC= 0,28 EP= 0,17
 Resultado: Classe A

.....
 TESTE DE TENDÊNCIA

>> Teste t de Student
 tcalc(E)= -2,4106 tcalc(N)= 0,8083 ttab= 1,753
 Resultado: Inconclusivo

>> Estatística Espacial

Média Direcional (Azimute)= 321,445 Variância Circular= 0,5253
 Resultado: Não Tendencioso

.....

DISCREPÂNCIAS - PONTOS DE CHECAGEM

ID	di(E)	di(N)	di(ABS)
1	0,003	0,016	0,0163
10	-0,006	0,017	0,018
11	-0,014	0,011	0,0178
12	-0,012	0,029	0,0314
13	0,005	0,02	0,0206
14	-0,013	0,005	0,0139
15	-0,022	0,006	0,0228
16	0,001	0,017	0,017
2	0,016	-0,019	0,0248
3	0,002	0,004	0,0045
4	-0,018	0,018	0,0255
5	0,016	0,001	0,016
6	-0,019	-0,015	0,0242
7	-0,022	0,018	0,0284
8	-0,039	-0,025	0,0463
9	-0,024	-0,041	0,0475

ANEXO E - RELATÓRIO DE PROCESSAMENTO PIX4D

Quality Report



See [Quality Report Help](#) for detailed explanations. Generated with version 1.1.38

Summary

Project:	1
Processed:	2022-Jul-30 17:32:36
Camera name:	FC6310S_8.8_4864x3648
Average Ground Sampling Distance (GSD):	3.51 cm
Area covered:	0.4624 km ² / 46.2412 ha / 0.1786 sq. mi.
Image coordinate system:	WGS84
Ground Control Point (GCP) coordinate system:	WGS 84 / UTMzone 23S
Output coordinate system:	WGS84 / UTMzone 23S
Processing type:	full (scale 1) aerial nadir
Time for initial processing (without report):	03h:48m:58s

Quality Check

Images:	median of 48143 keypoints per image	✓
Dataset:	243 out of 243 images calibrated (100%), all images enabled	✓
Camera optimization quality:	46.81% relative difference between initial and final focal length	⚠
Matching quality:	median of 18350.2 matches per calibrated image	✓
Georeferencing:	15 GCPs (15 3D), 0.055 m	✓

Preview

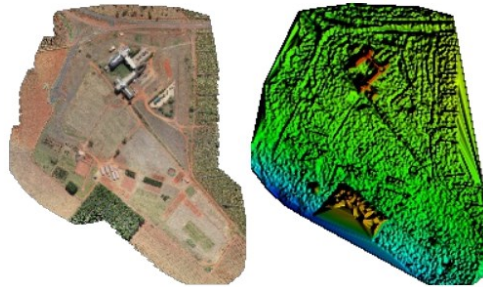
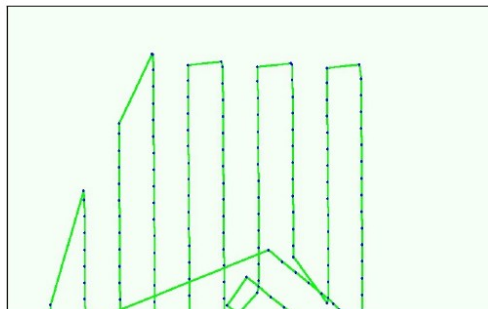


Figure 1: Orthomosaic and the corresponding sparse Digital Surface Model (DSM) before densification.

Calibration details

Number of calibrated images:	243 out of 243
Number of geotagged images:	243 out of 243

Geotag Position



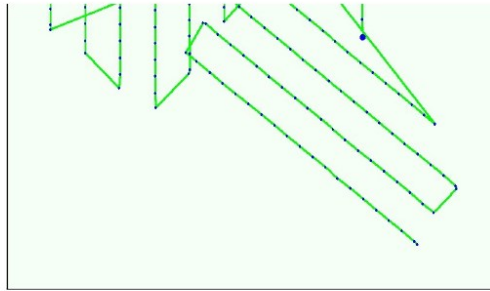


Figure 2: Top view of the geotags. The green line follows the geotags of the images in time starting from the large blue dot.

Optimized Camera Position

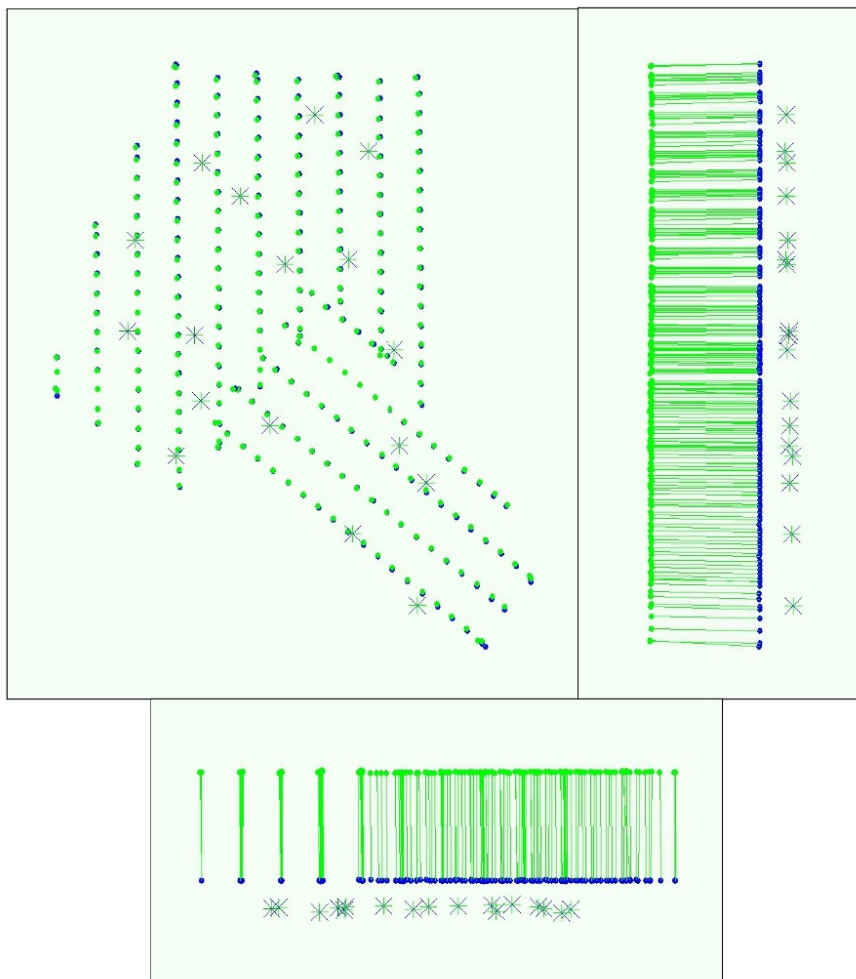
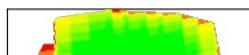


Figure 3: Offset between image geotags (blue dots) and optimized positions (green dots) as well as the offset between the GCPs positions (blue crosses) and their optimized positions (green crosses) in the top-view (XY plane), front-view (XZ plane) and side-view (YZ plane).

Overlap



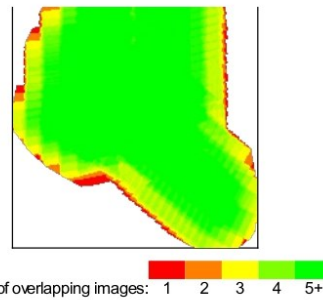


Figure 4: Number of overlapping images computed for each pixel of the orthomosaic. Red and yellow areas indicate low overlap for which poor results may be generated. Green areas indicate an overlap over 5 images for every pixel. Good quality results will be generated as long as the number of keypoint matches is also sufficient for these areas (see Figure 5 for keypoint matches).

Bundle Block Adjustment details

Number of 2D keypoint observations for Bundle Block Adjustment	4475281
Number of 3D points for Bundle Block Adjustment	1541706
Mean reprojection error	0.513736 [pixels]

Internal Camera Parameters FC6310S_8.8_4864x3648. Sensor dimensions: 12.8 [mm] x 9.62 [mm]

EXIF ID: FC6310S_8.8_4864x3648

	Focal length	Principal point x	Principal point y	R1	R2	R3	T1	T2
Initial values	3335.314 [pix] 8.800 [mm]	2432.000 [pix] 6.417 [mm]	1824.000 [pix] 4.813 [mm]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Optimized values	4896.645 [pix] 12.919 [mm]	2479.870 [pix] 6.543 [mm]	1852.469 [pix] 4.888 [mm]	-0.002	-0.059	0.109	0.003	-0.000

2D Keypoint Table

	Number of 2D keypoints per image	Number of matched 2D keypoints per image
Median	48143	18350
Mn	30088	8055
Max	69143	27163
Mean	46045	18417

3D Points from 2D Keypoint Matches

	Number of 3D points observed
In 2 images	972022
In 3 images	277279
In 4 images	119157
In 5 images	63104
In 6 images	36060
In 7 images	23028
In 8 images	15460
In 9 images	10461
In 10 images	7335
In 11 images	4935
In 12 images	3535
In 13 images	2603
In 14 images	1945
In 15 images	1614
In 16 images	1078
In 17 images	702
In 18 images	471
In 19 images	315

In 20 images	220
In 21 images	153
In 22 images	100
In 23 images	67
In 24 images	33
In 25 images	20
In 26 images	3
In 27 images	4
In 28 images	2

2D Keypoint Graph

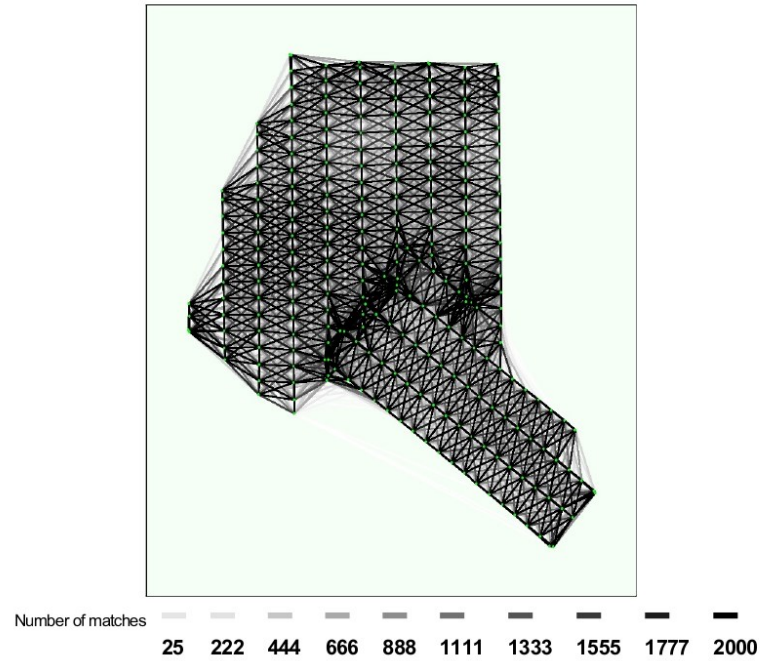


Figure 5: Top view of the geotags with a link between matching images. The darkness of the links indicates the number of matched 2D keypoints between the images. Bright links indicate weak links and require manual tie points or more images.

Most visible 2D keypoints

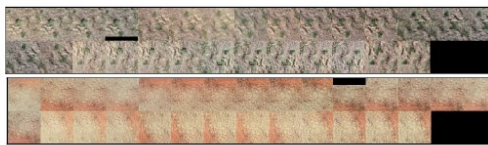


Figure 6: Cropped area of 2 3D points arising from 28 2D keypoints. Each cropped area should represent the same 3D object.

Geolocation and Ground Control Points

GCP name	Tolerance XY/Z [m]	Error X [m]	Error Y [m]	Error Z [m]	Projection error [pixel]	Verified/Marked
3D GCP: 100	0.020/0.020	0.005	0.010	0.078	0.480	12 / 12
3D GCP: 101	0.020/0.020	-0.000	-0.015	-0.057	0.475	13 / 13
3D GCP: 103	0.020/0.020	-0.007	0.010	-0.036	0.538	18 / 18
3D GCP: 106	0.020/0.020	-0.008	-0.007	0.023	0.414	13 / 13
3D GCP: 108	0.020/0.020	0.010	0.009	0.012	0.622	14 / 14
3D GCP: 109	0.020/0.020	0.018	0.001	-0.181	0.457	5 / 5
3D GCP: 112	0.020/0.020	0.003	0.011	0.012	0.478	9 / 9

3D GCP: 112	0.020/0.020	0.000	0.011	0.012	0.555	9/9
3D GCP: 114	0.020/0.020	-0.002	0.004	0.027	0.555	9/9
3D GCP: 115	0.020/0.020	-0.010	0.001	0.010	0.611	10/10
3D GCP: 119	0.020/0.020	-0.002	-0.014	-0.026	0.648	16/16
3D GCP: 120	0.020/0.020	-0.012	0.031	0.169	0.535	7/7
3D GCP: 123	0.020/0.020	-0.025	0.008	-0.243	0.540	13/13
3D GCP: 125	0.020/0.020	-0.124	0.082	-0.081	0.570	9/10
3D GCP: 126	0.020/0.020	-0.008	0.004	-0.076	0.557	13/13
3D GCP: 129	0.020/0.020	0.001	-0.008	0.060	0.470	15/15
3D GCP: 131	0.020/0.020	-0.009	-0.013	-0.095	0.593	12/12
3D GCP: 132	0.020/0.020	0.003	0.017	0.125	0.562	11/11
Mean		-0.001135	0.002773	0.003095		
Sigma		0.033382	0.023887	0.108241		
RMS error		0.033736	0.024708	0.107661		

Localisation accuracy per GCP and mean errors in the three coordinate directions. The last column counts the number of images where the GCP has been automatically verified vs. manually marked.

Absolute Geotag Variance

0 out of 243 geotagged and calibrated images have been labeled as inaccurate.

Mn error [m]	Maxerror [m]	Geotag error X [%]	Geotag error Y [%]	Geotag error Z [%]
-	-15.00	0.00	0.00	100.00
-15.00	-12.00	0.00	0.00	0.00
-12.00	-9.00	0.00	0.41	0.00
-9.00	-6.00	0.00	0.41	0.00
-6.00	-3.00	0.00	2.88	0.00
-3.00	0.00	7.41	45.68	0.00
0.00	3.00	92.18	48.56	0.00
3.00	6.00	0.00	2.06	0.00
6.00	9.00	0.00	0.00	0.00
9.00	12.00	0.41	0.00	0.00
12.00	15.00	0.00	0.00	0.00
15.00	-	0.00	0.00	0.00
Mean		0.966611	-0.127064	-138.390007
Sigma		0.940828	1.682151	0.931443
RMS error		1.348886	1.686943	138.393141



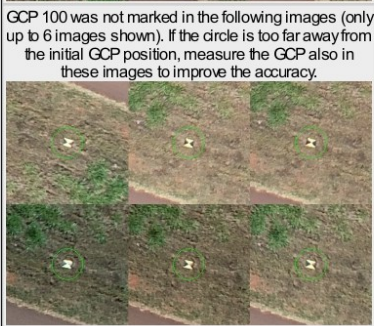
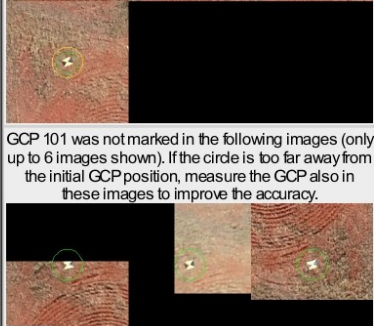
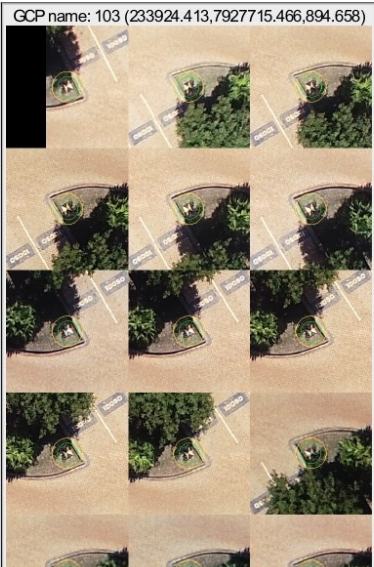
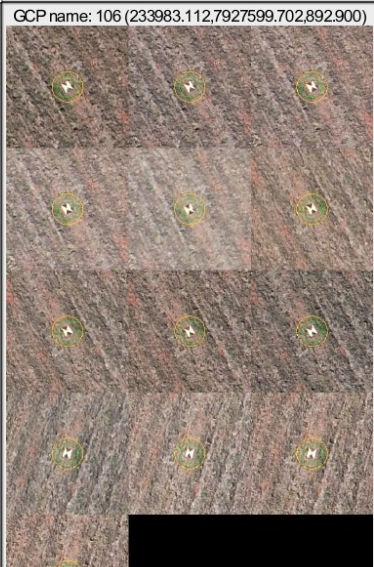
Min error and Max error represent geotag error intervals between -1.5 and 1.5 times maximum tolerance of all the images. Columns X, Y, Z show the percentage of images with geotag errors within the predefined error intervals. The geotag error is the difference between the image geotags and the optimized camera positions. Note that the image geotag errors do not correspond to the accuracy on the observed 3D points.

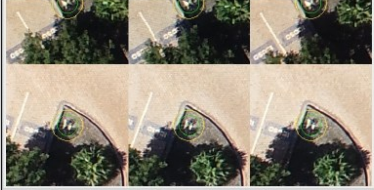

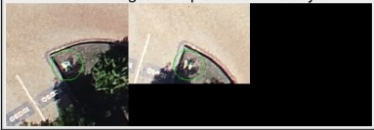
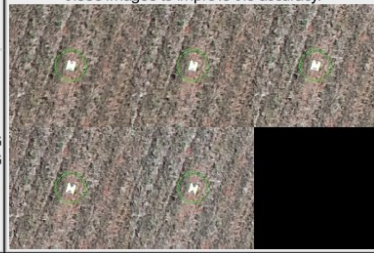
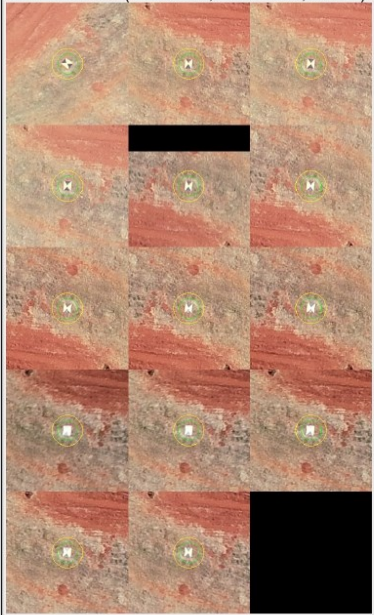
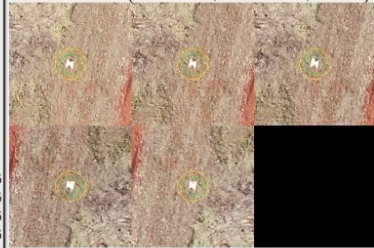
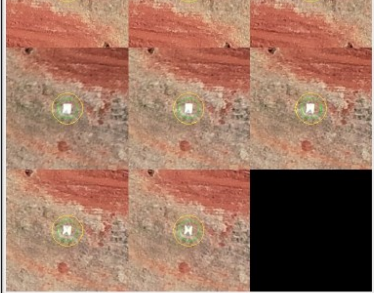
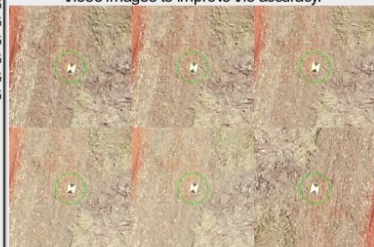

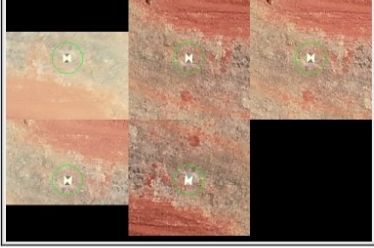

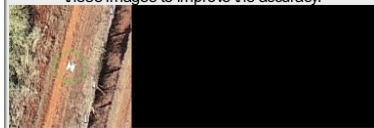
Relative Geotag Variance


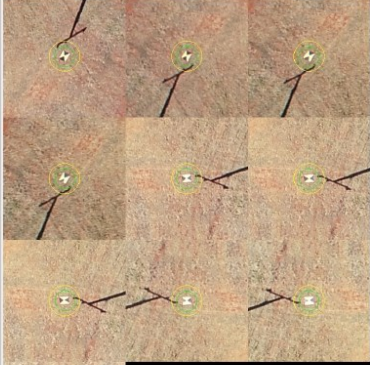

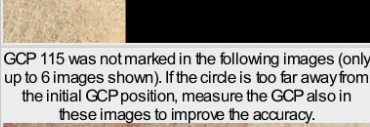
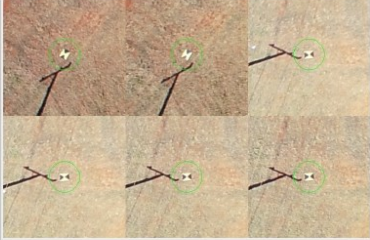
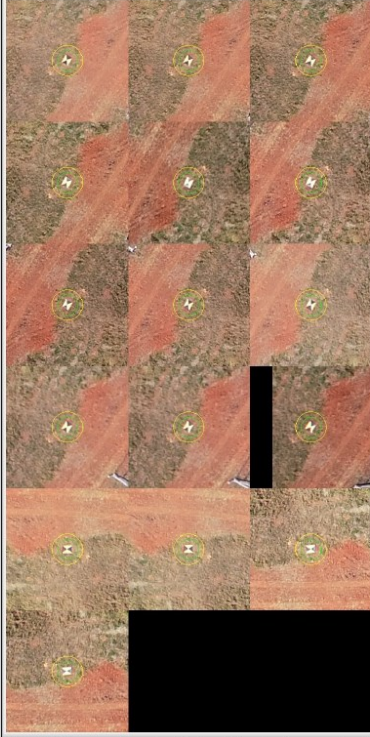


Tolerance [%]	Images X [%]	Images Y [%]	Images Z [%]
10.00	23.05	25.51	0.00
20.00	48.56	52.67	0.00
30.00	74.07	67.49	0.00
40.00	93.83	78.19	0.00
50.00	98.77	86.42	0.00
60.00	99.59	94.24	0.00
70.00	99.59	97.53	0.00
80.00	99.59	99.18	0.00
90.00	99.59	99.18	0.00
100.00	99.59	99.18	0.00
110.00	99.59	99.18	0.00
120.00	99.59	99.18	0.00
130.00	99.59	99.18	0.00
140.00	99.59	99.18	0.00
150.00	99.59	99.18	0.00
Mean tolerance	5.000000	5.000000	10.000000
Sigma tolerance	0.000000	0.000000	0.000000

Images X, Y, Z represent the percentage of images with a geotag error in X, Y, Z smaller than the given percentage of their corresponding tolerance.

Ground Control Points

<p>GCP name: 100 (233880.471,7927900.773,894.196)</p> 	<p>DJI_0163.JPG DJI_0185.JPG DJI_0186.JPG DJI_0187.JPG DJI_0188.JPG DJI_0191.JPG DJI_0192.JPG DJI_0193.JPG DJI_0194.JPG DJI_0195.JPG DJI_0219.JPG DJI_0220.JPG</p>	<p>GCP name: 101 (233949.349,7927854.490,895.574)</p> 	<p>DJI_0155.JPG DJI_0156.JPG DJI_0157.JPG DJI_0158.JPG DJI_0163.JPG DJI_0164.JPG DJI_0165.JPG DJI_0166.JPG DJI_0183.JPG DJI_0184.JPG DJI_0185.JPG DJI_0186.JPG DJI_0187.JPG</p>
<p>GCP 100 was not marked in the following images (only up to 6 images shown). If the circle is too far away from the initial GCP position, measure the GCP also in these images to improve the accuracy.</p> 	<p>DJI_0164.JPG DJI_0189.JPG DJI_0190.JPG DJI_0218.JPG DJI_0221.JPG DJI_0222.JPG</p>	<p>GCP 101 was not marked in the following images (only up to 6 images shown). If the circle is too far away from the initial GCP position, measure the GCP also in these images to improve the accuracy.</p> 	<p>DJI_0154.JPG DJI_0159.JPG DJI_0167.JPG DJI_0193.JPG</p>
<p>GCP name: 103 (233924.413,7927715.466,894.658)</p> 	<p>DJI_0149.JPG DJI_0168.JPG DJI_0169.JPG DJI_0170.JPG DJI_0171.JPG DJI_0172.JPG DJI_0177.JPG DJI_0178.JPG DJI_0179.JPG DJI_0180.JPG DJI_0181.JPG DJI_0199.JPG DJI_0200.JPG DJI_0201.JPG DJI_0202.JPG DJI_0304.JPG DJI_0305.JPG DJI_0306.JPG</p>	<p>GCP name: 106 (233983.112,7927599.702,892.900)</p> 	<p>DJI_0144.JPG DJI_0145.JPG DJI_0146.JPG DJI_0147.JPG DJI_0148.JPG DJI_0173.JPG DJI_0174.JPG DJI_0175.JPG DJI_0176.JPG DJI_0307.JPG DJI_0308.JPG DJI_0309.JPG DJI_0310.JPG</p>

			
<p>GCP 103 was not marked in the following images (only up to 6 images shown). If the circle is too far away from the initial GCP position, measure the GCP also in these images to improve the accuracy.</p>		<p>GCP 106 was not marked in the following images (only up to 6 images shown). If the circle is too far away from the initial GCP position, measure the GCP also in these images to improve the accuracy.</p>	
	<p>DJI_0203.JPG DJI_0307.JPG</p>		<p>DJI_0318.JPG DJI_0319.JPG DJI_0320.JPG DJI_0321.JPG DJI_0322.JPG</p>
<p>GCP name: 108 (233989.996,7927476.765,889.948)</p>		<p>GCP name: 109 (234024.704,7927429.330,889.208)</p>	
	<p>DJI_0143.JPG DJI_0317.JPG DJI_0318.JPG DJI_0319.JPG DJI_0333.JPG DJI_0334.JPG DJI_0335.JPG DJI_0336.JPG DJI_0337.JPG DJI_0354.JPG DJI_0355.JPG DJI_0356.JPG DJI_0357.JPG DJI_0358.JPG</p>		<p>DJI_0337.JPG DJI_0338.JPG DJI_0339.JPG DJI_0354.JPG DJI_0355.JPG</p>
<p>GCP 109 was not marked in the following images (only up to 6 images shown). If the circle is too far away from the initial GCP position, measure the GCP also in these images to improve the accuracy.</p>		<p>GCP 109 was not marked in the following images (only up to 6 images shown). If the circle is too far away from the initial GCP position, measure the GCP also in these images to improve the accuracy.</p>	
			<p>DJI_0313.JPG DJI_0314.JPG DJI_0315.JPG DJI_0316.JPG DJI_0317.JPG DJI_0336.JPG</p>
<p>GCP name: 112 (234013.111,7927272.088,884.726)</p>		<p>GCP name: 112 (234013.111,7927272.088,884.726)</p>	
<p>GCP 108 was not marked in the following images (only up to 6 images shown). If the circle is too far away from the initial GCP position, measure the GCP also in these images to improve the accuracy.</p>			<p>DJI_0349.JPG DJI_0350.JPG DJI_0351.JPG DJI_0352.JPG DJI_0353.JPG DJI_0379.JPG DJI_0380.JPG DJI_0381.JPG DJI_0382.JPG</p>
	<p>DJI_0310.JPG DJI_0315.JPG DJI_0316.JPG DJI_0320.JPG DJI_0338.JPG</p>	<p>GCP 112 was not marked in the following images (only up to 6 images shown). If the circle is too far away from the initial GCP position, measure the GCP also in these images to improve the accuracy.</p>	
			<p>DJI_0383.JPG</p>
<p>GCP name: 114 (233929.758,7927363.979,886.548)</p>		<p>GCP name: 115 (233823.592,7927502.224,889.051)</p>	

	<p>DJI_0354.JPG DJI_0355.JPG DJI_0356.JPG DJI_0357.JPG DJI_0358.JPG DJI_0374.JPG DJI_0375.JPG DJI_0376.JPG DJI_0377.JPG</p>		<p>DJI_0206.JPG DJI_0240.JPG DJI_0242.JPG DJI_0243.JPG DJI_0361.JPG DJI_0362.JPG DJI_0363.JPG DJI_0369.JPG DJI_0370.JPG DJI_0371.JPG</p>
<p>GCP 114 was not marked in the following images (only up to 6 images shown). If the circle is too far away from the initial GCP position, measure the GCP also in these images to improve the accuracy.</p> 	<p>DJI_0338.JPG DJI_0378.JPG</p>	<p>GCP 115 was not marked in the following images (only up to 6 images shown). If the circle is too far away from the initial GCP position, measure the GCP also in these images to improve the accuracy.</p> 	
			<p>DJI_0241.JPG DJI_0244.JPG DJI_0327.JPG DJI_0328.JPG DJI_0329.JPG DJI_0330.JPG</p>
<p>GCP name: 119 (233735.522,7927534.373,888.949)</p> 	<p>DJI_0239.JPG DJI_0240.JPG DJI_0241.JPG DJI_0242.JPG DJI_0247.JPG DJI_0248.JPG DJI_0249.JPG DJI_0250.JPG DJI_0251.JPG DJI_0281.JPG DJI_0282.JPG DJI_0283.JPG DJI_0365.JPG DJI_0366.JPG DJI_0367.JPG DJI_0368.JPG</p>	<p>GCP name: 120 (233703.792,7927463.636,886.041)</p> 	<p>DJI_0246.JPG DJI_0247.JPG DJI_0248.JPG DJI_0283.JPG DJI_0284.JPG DJI_0285.JPG DJI_0286.JPG</p>
<p>GCP 119 was not marked in the following images (only up to 6 images shown). If the circle is too far away from</p>		<p>GCP name: 123 (233641.597,7927623.206,890.381)</p> 	

<p>the initial GCP position, measure the GCP also in these images to improve the accuracy.</p>	<p>DJI_0206.JPG DJI_0207.JPG DJI_0208.JPG DJI_0238.JPG DJI_0243.JPG DJI_0252.JPG</p>		<p>DJI_0251.JPG DJI_0252.JPG DJI_0253.JPG DJI_0254.JPG DJI_0255.JPG DJI_0277.JPG DJI_0278.JPG DJI_0279.JPG DJI_0280.JPG DJI_0290.JPG DJI_0291.JPG DJI_0292.JPG DJI_0293.JPG</p>
		<p>GCP 123 was not marked in the following images (only up to 6 images shown). If the circle is too far away from the initial GCP position, measure the GCP also in these images to improve the accuracy.</p>	<p>DJI_0256.JPG DJI_0281.JPG DJI_0294.JPG</p>
<p>GCP name: 125 (233727.555,7927618.473,891.036)</p>	<p>DJI_0236.JPG DJI_0237.JPG DJI_0238.JPG DJI_0251.JPG DJI_0252.JPG DJI_0253.JPG DJI_0254.JPG DJI_0279.JPG DJI_0280.JPG DJI_0281.JPG</p>	<p>GCP name: 126 (233650.892,7927740.353,891.876)</p>	<p>DJI_0257.JPG DJI_0258.JPG DJI_0259.JPG DJI_0260.JPG DJI_0272.JPG DJI_0273.JPG DJI_0274.JPG DJI_0275.JPG DJI_0294.JPG DJI_0295.JPG DJI_0296.JPG DJI_0297.JPG DJI_0298.JPG</p>
<p>GCP 125 was not marked in the following images (only up to 6 images shown). If the circle is too far away from the initial GCP position, measure the GCP also in these images to improve the accuracy.</p>	<p>DJI_0207.JPG DJI_0208.JPG DJI_0209.JPG DJI_0210.JPG DJI_0235.JPG DJI_0239.JPG</p>	<p>GCP 126 was not marked in the following images (only up to 6 images shown). If the circle is too far away from the initial GCP position, measure the GCP also in these images to improve the accuracy.</p>	<p>DJI_0256.JPG DJI_0276.JPG</p>
<p>GCP name: 120 (233727.156,7927820.420,892.696)</p>		<p>GCP name: 124 (233785.018,7927707.055,894.002)</p>	

<p>GCP name: 129 (233797.130,1927639.430,692.090)</p>	<p>DJI_0216.JPG DJI_0217.JPG DJI_0218.JPG DJI_0219.JPG DJI_0220.JPG DJI_0226.JPG DJI_0227.JPG DJI_0228.JPG DJI_0229.JPG DJI_0230.JPG DJI_0259.JPG DJI_0260.JPG DJI_0261.JPG DJI_0262.JPG DJI_0263.JPG</p>	<p>GCP name: 131 (233763.500,1927797.000,694.092)</p> <p>DJI_0195.JPG DJI_0197.JPG DJI_0198.JPG DJI_0214.JPG DJI_0215.JPG DJI_0216.JPG DJI_0217.JPG DJI_0218.JPG DJI_0228.JPG DJI_0229.JPG DJI_0230.JPG DJI_0231.JPG</p>
<p>GCP 129 was not marked in the following images (only up to 6 images shown). If the circle is too far away from the initial GCP position, measure the GCP also in these images to improve the accuracy.</p> <p>DJI_0264.JPG DJI_0269.JPG DJI_0270.JPG</p>		<p>GCP 131 was not marked in the following images (only up to 6 images shown). If the circle is too far away from the initial GCP position, measure the GCP also in these images to improve the accuracy.</p> <p>DJI_0196.JPG DJI_0199.JPG DJI_0232.JPG DJI_0258.JPG DJI_0259.JPG DJI_0260.JPG</p>
<p>GCP name: 132 (233842.664,7927709.305,893.138)</p>	<p>DJI_0198.JPG DJI_0199.JPG DJI_0200.JPG DJI_0201.JPG DJI_0202.JPG DJI_0210.JPG DJI_0211.JPG DJI_0212.JPG DJI_0213.JPG DJI_0214.JPG DJI_0232.JPG</p>	
<p>GCP 132 was not marked in the following images (only up to 6 images shown). If the circle is too far away from the initial GCP position, measure the GCP also in these images to improve the accuracy.</p> <p>DJI_0177.JPG DJI_0178.JPG DJI_0179.JPG DJI_0180.JPG DJI_0181.JPG DJI_0182.JPG</p>	<p>DJI_0177.JPG DJI_0178.JPG DJI_0179.JPG DJI_0180.JPG DJI_0181.JPG DJI_0182.JPG</p>	



Figure 7: Images in which GCPs have been marked (yellow circle) and in which their computed 3D points have been projected (green circle). A green circle outside of the yellow circle indicates either an accuracy issue or a GCP issue.

ANEXO F - RELATÓRIO DA CLASSIFICAÇÃO GEOPEC PIX4D

GeoPEC

Avaliação do Padrão de Acurácia Posicional em Dados Espaciais

RELATÓRIO DE PROCESSAMENTO

(completo)

DADOS DO PRODUTO

Produto: Geopec- Pix4d
Local: UFU
Data: 31/07/2022
Responsável Técnico: Gabriel Matheus Costa

CLASSIFICAÇÃO FINAL DO PRODUTO

Padrão de acurácia utilizado: Decreto n. 89.817/1984 - Análise Planimétrica
Metodologia: Santos et al. (2016) com as tolerâncias PEC-PCD da ET-CQDG

O produto "Geopec- Pix4d 1/1000", **É ACURADO** para a escala de **1/1000**. O resultado do PEC-PCD foi "**Classe A**", de acordo com o Decreto n. 89.817 de 20 de junho de 1984, que regulamenta as normas cartográficas brasileiras, aliada às tolerâncias da ET-CQDG.

O produto foi submetido a análise de tendência e precisão em suas componentes posicionais, onde os resultados foram: **É Preciso e Não há Tendência**.

Pontos de checagem utilizados: 16
RMS das discrepâncias (m): 0,0329

INFORMAÇÕES GERAIS

Padrão de acurácia utilizado: **Decreto n. 89.817/1984**
Análise Planimétrica

PROCESSAMENTO

Escala de Referência: 1/1000

Pontos de checagem inseridos: 16
 Pontos de checagem utilizados: 16

.....
 OUTLIERS

>> Outliers detectados: 0
 >> Valor limite - detecção: 0,9

.....
 ESTATÍSTICAS DESCRITIVAS

>> Média(E)= 0,0082	Média(N)= -0,0006	Média(ABS)= 0,0295
>> Desv-pad(E)= 0,0197	Desv-pad(N)= 0,0261	Desv-pad(ABS)= 0,0148
>> RMS(E)= 0,0211	RMS(N)= 0,0252	RMS(ABS)= 0,0329

.....
 PADRÃO DE DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL

>> Vizinho mais próximo:
 :: Área (m²) = 234000
 :: 1ª ordem - R= 1,7241 Zcalc= 5,5409 Ztab= 1,96
 Resultado = Padrão DISPERSO - (significativo estatisticamente) - 95%
 :: 2ª ordem - R= 1,4254 Zcalc= 4,688 Ztab= 1,96
 Resultado = Padrão DISPERSO - (significativo estatisticamente) - 95%
 :: 3ª ordem - R= 1,3235 Zcalc= 4,4004 Ztab= 1,96
 Resultado = Padrão DISPERSO - (significativo estatisticamente) - 95%

.....
 TESTE DE NORMALIDADE

>> Teste de Normalidade Shapiro-Wilk :
 Wcalc(E)= 0,9537 Wcalc(N)= 0,9705
 p-value(E)= 0,5507 p-value(N)= 0,8462
 Nível de Confiança = 95%
 Amostra Normal

.....
 TESTE DE PRECISÃO

>> Decreto 89.817:
 PEC= 0,28 EP= 0,17
 Resultado: Classe A

.....
 TESTE DE TENDÊNCIA

>> Teste t de Student
 tcalc(E)= 1,665 tcalc(N)= -0,092 ttab= 1,753
 Resultado: Não Tendencioso

>> Estatística Espacial

Média Direcional (Azimute)= 110,0768 Variância Circular= 0,7334
 Resultado: Não Tendencioso

DISCREPÂNCIAS - PONTOS DE CHECAGEM

ID	di(E)	di(N)	di(ABS)
1	0,019	0,011	0,022
10	0,031	-0,004	0,0313
11	0,022	-0,005	0,0226
12	-0,011	0,015	0,0186
13	0,015	-0,028	0,0318
14	-0,001	-0,011	0,011
15	-0,01	0,011	0,0149
16	0	-0,009	0,009
2	0,037	0,022	0,043
3	0,01	0,015	0,018
4	0,024	0,039	0,0458
5	0,019	0,053	0,0563
6	-0,015	-0,023	0,0275
7	0,027	-0,031	0,0411
8	-0,038	-0,042	0,0566
9	0,002	-0,022	0,0221
