ELBER COSTA DE JESUS

AVALIAÇÃO DE PRODUTOS AEROFOTOGRAMÉTRICOS NA DETERMINAÇÃO DE COORDENADAS DE VÉRTICES DE IMÓVEIS RURAIS

SÃO CRISTÓVÃO - SE

2024

Elber Costa de Jesus

AVALIAÇÃO DE PRODUTOS AEROFOTOGRAMÉTRICOS NA DETERMINAÇÃO DE COORDENADAS DE VÉRTICES DE IMÓVEIS RURAIS

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Sergipe, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Agrícola.

SÃO CRISTÓVÃO - SE
2024

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE – UFS
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS APLICADAS – CCAA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA – DEAGRI

AVALIAÇÃO DE PRODUTOS AEROFOTOGRAMÉTRICOS NA DETERMINAÇÃO DE COORDENADAS DE VÉRTICES DE IMÓVEIS RURAIS

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Sergipe, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Agrícola.

Aprovado em: 14/10/2024

Discente: Elber Costa de Jesus

gov.br Documento assinado digitalmente
RYCHARDSON ROCHA DE ARAUJO
Data: 09/11/2024 09:56:50-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. D.Sc. Rychardson Rocha de Araujo
(Orientador)

gov.br Documento assinado digitalmente
MARIO JORGE CAMPOS DOS SANTOS
Data: 09/11/2024 06:17:59-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. D.Sc. Mario Jorge Campos dos Santos
(Examinador)

gov.br Documento assinado digitalmente
WENDEL DE MELO MASSARANDUBA
Data: 08/11/2024 08:35:26-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

M.Sc. Wendel de Melo Massaranduba
(Examinador)

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....1

2. MATERIAL E MÉTODOS.....2

2.1. Área de estudo.....2

2.2. Planejamento do voo.....2

2.2.1. Equipamento utilizado..... 2

2.2.2. Configuração do voo.....3

2.3. Marcação dos pontos de controle.....3

2.4. Execução do voo.....5

2.4.1. Condições meteorológicas durante os voos..... 5

2.5. Processamento das Imagens.....7

3. RESULTADOS.....10

4. CONCLUSÕES.....13

ANEXOS.....15

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de localização da área de estudo.....2

Figura 2. Marcação e equipamentos utilizados para coleta dos pontos de controle. Fonte: o autor.....5

Figura 3. Modelo Digital de Elevação (DEM.....11

Figura 4. Ortomosaico Ortorretificado.....12

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Especificações técnicas do drone Phantom 4 Advanced..... 3

Tabela 2. Especificações técnicas do equipamento RTK..... 4

Tabela 3. Características dos voos realizados..... 6

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo avaliar a utilização de produtos aerofotogramétricos na determinação de coordenadas de vértices de imóveis rurais, uma etapa fundamental no processo de georreferenciamento e regularização fundiária. A aerofotogrametria, técnica que emprega imagens aéreas para a obtenção de dados geoespaciais, apresenta-se como uma alternativa eficaz ao uso de métodos mais tradicionais, como o levantamento topográfico terrestre e a tecnologia GNSS (Sistema Global de Navegação por Satélite). Com o crescimento da demanda por demarcação de áreas rurais no Brasil, impulsionado pela legislação vigente (Lei 10.267/2001), torna-se necessário explorar técnicas que ofereçam alta precisão, maior cobertura territorial e redução de custos operacionais. Além disso, será abordada a questão da conformidade com as exigências legais, como o rigor nos parâmetros de precisão exigidos pelo INCRA (Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária). A pesquisa busca fornecer uma análise detalhada sobre a adequação da aerofotogrametria para projetos de demarcação de propriedades rurais, propondo soluções mais eficientes e precisas, que otimizem o tempo e os recursos financeiros envolvidos no processo de levantamento territorial. Os resultados esperados poderão contribuir para a adoção de novas tecnologias no campo da cartografia rural, auxiliando na melhoria da regularização fundiária no Brasil.

Palavras-chave: Aerofotogrametria, Georreferenciamento, Regularização Fundiária.

ABSTRACT

Title: Evaluation of Photogrammetric Products in the Determination of Vertex Coordinates of Rural Properties

This study aims to evaluate the use of photogrammetric products in determining the coordinates of vertexes in rural properties, a crucial step in the process of georeferencing and land regularization. Photogrammetry, a technique that employs aerial images to obtain geospatial data, presents itself as an effective alternative to more traditional methods, such as terrestrial topographic surveying and GNSS (Global Navigation Satellite System) technology. With the increasing demand for the demarcation of rural areas in Brazil, driven by current legislation (Law 10.267/2001), it is necessary to explore techniques that offer high precision, greater territorial coverage, and reduced operational costs. Additionally, the issue of compliance with legal requirements, such as the precision standards demanded by INCRA (National Institute for Colonization and Agrarian Reform), will be addressed. The research seeks to provide a detailed analysis of the adequacy of photogrammetry for rural property demarcation projects, proposing more efficient and accurate solutions that optimize both time and financial resources involved in territorial surveying. The expected results may contribute to the adoption of new technologies in the field of rural cartography, aiding in the improvement of land regularization in Brazil.

Keywords: Photogrammetry, Georeferencing, Land Regularization.

1. INTRODUÇÃO

As medições topográficas são realizadas, em sua maioria, por instrumentos topográficos em contato direto com o objeto de medição. No entanto, a depender da extensão da área, o seu acesso pode ser obtido por meio de técnicas de medições remotas por meio da aerofotogrametria. Silva & Sergantina (2023), conceituam essa metodologia como a realização de modelagem matemática do espaço 3D por intermédio de imagens 2D geradas por sensores de captura de imagem.

A aerofotogrametria consiste na obtenção de informações geográficas através do processamento de imagens aéreas capturadas por sensores embarcados em aeronaves. Essa técnica permite a geração de modelos tridimensionais do terreno e a identificação de pontos de interesse, como os vértices que definem os limites de imóveis rurais. Por outro lado, o Sistema GNSS é uma tecnologia de posicionamento que utiliza sinais de satélites para determinar coordenadas precisas na superfície terrestre, através do uso de receptores GNSS.

O uso de tecnologias como a aerofotogrametria e o Sistema Global de Navegação por Satélite (GNSS) tem se destacado na obtenção de informações precisas sobre a localização e características das propriedades rurais. Ressalta-se que atualmente a aerofotogrametria e o sensoriamento remoto com o uso de drones está vigente para o georreferenciamento de imóveis rurais no Brasil.

O georreferenciamento de imóveis rurais é obrigatório nos casos de desmembramento, parcelamento, remembramento, transferência e ações judiciais relativas aos imóveis rurais com área a partir de 100 hectares (INCRA, 2022). Além disso, deve ser executado por profissional habilitado e credenciado junto ao Incra. As coordenadas georreferenciadas da propriedade devem ser enviadas ao Sistema de Gestão Fundiária do Instituto para validação e certificação.

O trabalho teve como objetivo, comparar os resultados obtidos por meio de dois métodos distintos de controle de coordenadas de vértices em um imóvel rural localizado no município do Conde, Bahia. Os métodos em questão são a aerofotogrametria e o Sistema Global de Navegação por Satélite (GNSS). Os instrumentos para coleta de dados foram realizados através de RTK e drone Phantom 4 Advanced.

Considerando que ambas as técnicas ganharam destaque no campo do sensoriamento remoto, é fundamental avaliar seus recursos, características e limitações na orientação de vértices. A análise comparativa permitirá identificar para qual método os resultados se apresentam mais precisos e adequados às necessidades do mapeamento rural.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Área de estudo

O mapeamento foi realizado em uma propriedade rural, localizada no município de Conde, no estado da Bahia. Possui área total de 9.86 hectares, equivalentes há 22,63 tarefas baianas.

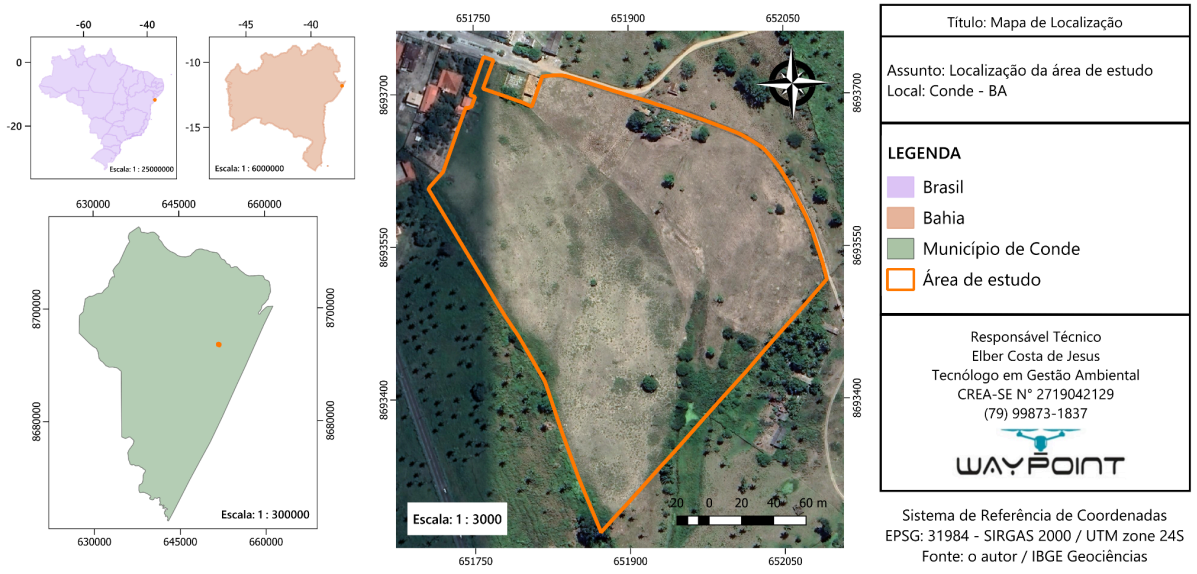

Figura 1. Mapa de localização da área de estudo.

2.2. Planejamento do voo

O planejamento do voo é essencial para garantir a cobertura completa da área e a sobreposição adequada das imagens, garantindo a qualidade dos dados obtidos. A sobreposição lateral e longitudinal das imagens é um aspecto crucial para a fotogrametria. A sobreposição lateral refere-se à cobertura que as imagens têm umas das outras na direção perpendicular à trajetória de voo. Já a sobreposição longitudinal é a cobertura entre as imagens na direção do voo. Uma sobreposição adequada é essencial para possibilitar a criação de modelos tridimensionais e para garantir a precisão dos resultados (LIMA, 2016).

2.2.1. Equipamento utilizado

O levantamento foi realizado por meio do drone Phantom 4 Advanced. Esse dispositivo tem uma câmera de 20 megapixels com sensor de 1 polegada e obturador mecânico, então é capaz de fotografar e gravar vídeos em formato 4K a 60 quadros por segundo, as demais especificações estão presentes na tabela 1.

Especificações técnicas
Câmera: sensor 1’’ CMOS, 20 megapixels, Bitrate 100 Mbps
Armazenamento: micro SD com capacidade máxima de 128 GB
Velocidade de gravação: 15 MB/s em Class 10 ou UHS-1
Tempo de voo: aproximadamente 30 minutos
Bateria: 5.870 mAh
Peso: 1,37 kg

Tabela 1. Especificações técnicas do drone Phantom 4 Advanced.

2.2.2. Configuração do voo

Na realização da configuração do voo é utilizado o aplicativo Drone Deploy, que permite realizar as configurações e criar projetos. Ao criar o projeto define-se a área do levantamento, e dessa forma a poligonal a ser levantada.

Com a definição da poligonal podemos saber a quantidade de imagens que vão ser geradas, tempo de voo, quantidade de baterias e o tamanho da área a ser levantada. Salientando que a depender da altitude do voo e a definição da sobreposição tanto lateral quanto longitudinal a quantidade de imagens podem alterar, tanto para uma quantidade maior ou menor de imagens.

Depois de criado o projeto, começamos a fazer a configuração da altitude do voo, seguindo então para configurações avançadas. Nessa etapa são detalhados o tipo de drone a ser utilizado, sobreposição frontal e lateral, direção do voo, velocidade de voo de mapeamento, angulação do Gimbal e o ponto de partida para início do levantamento.

2.3. Marcação dos pontos de controle

A distribuição dos pontos de controle (GCPs) na propriedade, foi feita de forma que os pontos fossem marcados em locais que ficassem bem visíveis, de forma que abrangesse toda poligonal. Distribuindo esses pontos tanto na parte da bordadura da poligonal, como também nas áreas centrais do imóvel (Figura 2).

Nesse levantamento foram implantados 12 pontos de controle, para que a partir desses pontos seja feita toda parte de georreferenciamento das imagens capturadas no levantamento aerofotogramétrico, corrigindo assim o erro existente nas imagens, já que as mesmas não são georreferenciadas. Os pontos de GCPs, foram coletados com um tempo de duração de 5 minutos de rastreio em cada ponto, para que assim pudesse ter uma melhor acurácia nos

resultados do levantamento. No levantamento dos pontos de controle (GCPs), foi utilizado um equipamento Modelo RTK - GNSS - CONAV T 300 (Figura 2), cujas especificações técnicas estão na tabela 2.

Especificações técnicas
Rastreamento
Canais de rastreamento de sinais: 965 canais. Rastreamento de todas as constelações ativas e planejadas: GPS, BeiDou, GLONASS, Galileo, Navic e SBAS (WAAS, EGNOS, MSAS, GAGAN, SDCM, BDSBAS).
Performance
Partida a frio: <50s; Início quente: <30s; Tempo de inicialização: <10s; Reaquisição de sinal: <1,5s; Confiabilidade de inicialização: >99,9%;
Posicionamento (método e precisão)
Estático: 2,5 mm + 0,5 ppm Horizontal, 5 mm + 0,5 ppm Vertical; Cinemática em Tempo Real: 15 mm + 1 ppm Vertical, 8 mm + 1 ppm Horizontal; DGPS: <0,4 m RMS; SBAS: 1 m 3D RMS; Autônomo: 1,5 m 3D RMS.
Comunicações
1 porta serial (lemo de 7 pinos); Taxa de transmissão de até 921.600 bps; Modem UHF1; Tx/Rx com faixa de frequência completa de 410-470 MHz2 (potência de transmissão: 0,5-2 W ajustável, alcance: 1-5 km; Modem 4G (bandas 4G: 800/900/1800/2100/2600 MHz, bandas 3G: 900/2100 MHz, bandas 2G: 900/1800 MHz, suporte GSM, Ponto a Ponto/Pontos e NTRIP); Taxas de saída de dados de posição: 1 Hz, 2 Hz, 5 Hz, 10 Hz, 20 Hz; 5 LEDs (indicando Energia, Rastreamento por Satélite, Status GPRS e Dados Diferenciais); Bluetooth® : Protocolo V 4.0, compatível com Windows OS e Android OS.

Tabela 2. Especificações técnicas do equipamento RTK.

Figura 2. Marcação e equipamentos utilizados para coleta dos pontos de controle. Fonte: o autor.

2.4. Execução do voo

O levantamento foi realizado no município de Conde, estado da Bahia, no dia 30/08/2024. No dia da realização do levantamento as condições meteorológicas estavam ótimas, com baixa incidência de nuvens, sem riscos de chuva e com baixa velocidade do vento. Desse modo, as condições de voo estavam ótimas para realização do mapeamento da propriedade rural.

2.4.1. Condições meteorológicas durante os voos

As condições meteorológicas no dia dos voos são fatores determinantes para a qualidade das imagens e, consequentemente, para o sucesso do processamento fotogramétrico. O clima influencia diretamente na iluminação, na visibilidade, na presença de sombras, e até mesmo na estabilidade do voo de drones. No caso específico deste trabalho, foram observados os seguintes aspectos relacionados às condições atmosféricas:

a) Presença ou ausência de nuvens

Durante o dia dos voos, a presença de nuvens foi um fator avaliado cuidadosamente. As nuvens podem gerar sombras indesejadas nas imagens ou causar uma variação de iluminação, o que prejudica o alinhamento das fotos no processo de reconstrução fotogramétrica. Além disso, uma mudança súbita nas condições de luz pode interferir na uniformidade dos dados coletados, gerando inconsistências no modelo tridimensional ou no ortomosaico.

No caso deste projeto, os voos ocorreram em um dia com poucas nuvens. A

quantidade de nuvens não foi suficiente para criar sombras marcantes no solo, o clima em geral permaneceu estável, sem a presença de nuvens densas que pudessem bloquear a luz solar por períodos prolongados.

b) Iluminação solar

A iluminação natural foi favorável, com luz difusa devido à presença de nuvens dispersas. Este tipo de iluminação é geralmente preferível, pois evita sombras duras e contrastes excessivos, o que pode melhorar o detalhamento das imagens

c) Tempo de voo e número de imagens

O tempo de voo é outro aspecto crucial para a eficiência do levantamento fotogramétrico, pois está diretamente relacionado à cobertura da área, à qualidade das imagens capturadas e ao intervalo de tempo entre as fotos. No caso deste projeto, os voos foram programados para cobrir toda a área de interesse de forma eficiente, resultando em uma distribuição uniforme das imagens e sem grandes sobreposições desnecessárias.

A sobreposição das imagens foi planejada para garantir uma cobertura eficiente e minimizar áreas sem dados, nesse primeiro voo foi utilizada uma sobreposição lateral e frontal de 75% e 80%. O intervalo entre fotos foi mantido em conformidade com o plano de voo e com as exigências para o processamento fotogramétrico, resultando em uma boa distribuição das imagens.

	Sobreposição (75%)	**Sobreposição (75%)**	**Sobreposição (80%)**
Altitude do voo (m)	60	80	80
Tempo de voo (min)	21:10	20:07	13:36
Número de voos	2	2	1
Número de fotos por voo	375	377	153

Tabela 3. Características dos voos realizados.

d) Qualidade das imagens

Para a avaliação das imagens considera-se a qualidade na resolução, nitidez, exposição e ausência ou presença de distorções. Todos esses fatores são essenciais para o sucesso do

processamento fotogramétrico no Agisoft Metashape.

- Resolução: apresentaram alta resolução, permitindo a detecção de pequenos detalhes da superfície. Isso foi essencial para a geração de uma nuvem de pontos densa e precisa.
- Nitidez: foi mantida em um nível elevado, sem sinais de desfoque ou borrões, mesmo nas áreas de borda das fotos, o que é crucial para o alinhamento correto das imagens durante o processamento.
- Exposição: foi controlada automaticamente pela câmera, resultando em fotos com boa distribuição de luz,
- Ausência de distorções: não foram observadas distorções significativas nas bordas das imagens, o que poderia prejudicar o alinhamento e a criação de modelos tridimensionais.

A qualidade das imagens obtidas permitiu um processamento eficiente no Agisoft Metashape e a geração de produtos cartográficos de alta precisão. A combinação de condições meteorológicas favoráveis, boa iluminação e equipamento adequado resultou em um conjunto de dados fotográficos que atendem plenamente aos requisitos para o processamento fotogramétrico de alta qualidade.

2.5. Processamento das Imagens

O processamento fotogramétrico foi realizado com o Agisoft Metashape, esse software é utilizado para gerar modelos tridimensionais e ortomosaicos a partir de imagens capturadas por drones, e outros dispositivos de captura de imagens. Esse software automatiza grande parte do processo, permitindo a reconstrução precisa de superfícies a partir de dados fotográficos.

O primeiro passo do processamento fotogramétrico no Agisoft Metashape envolve a importação das imagens a serem processadas. No software, essa etapa é realizada através do menu Workflow > Add Photos, ambiente onde o usuário pode selecionar o conjunto de imagens a serem utilizadas.

Após a importação das imagens no Agisoft Metashape, é realizado o alinhamento das imagens, um processo crucial para identificar pontos em comum entre elas. Durante essa fase, o software detecta automaticamente pontos de interesse nas fotos e usa essas informações para calcular as posições relativas das câmeras, resultando na geração de uma nuvem de pontos esparsos. A precisão desse alinhamento pode ser ajustada de acordo com as necessidades do projeto, utilizando o parâmetro Accuracy, que pode ser configurado para níveis como alta,

média ou baixa.

Após o alinhamento inicial, é necessário corrigir a altitude das imagens. Para isso, utilizamos o programa MAPGEO 2015 (Sistema de Interpolação de Ondulação Geoidal – SIRGAS 2000), disponibilizado pelo IBGE. No MAPGEO, inserimos as coordenadas de uma das imagens (latitude e longitude), e o software gera o valor de ondulação geoidal necessário para ajustar a altitude no Metashape.

Com o valor obtido, retornamos ao Agisoft Metashape, onde utilizamos o menu Tools > Run Script para aplicar a correção de altitude. Uma janela será aberta para inserir o valor fornecido pelo MAPGEO, e, ao confirmar, o programa ajusta automaticamente as altitudes de todas as imagens.

Com as altitudes corrigidas, ajusta-se o Sistema de Informações Geográficas (SIG). Para este projeto, alteramos o sistema de coordenadas de WGS 84 para SIRGAS2000-ZONA 24S, que será utilizado nas etapas subsequentes. Após essas alterações, realizamos um novo alinhamento das imagens para consolidar as correções e garantir que o modelo esteja georreferenciado corretamente.

Na próxima etapa, inserimos os GCPs (Pontos de Controle Terrestres), que foram coletados em campo utilizando um equipamento GNSS MODELO CONAV T300. Esses pontos são cruciais para o georreferenciamento preciso do modelo. Para inseri-los no Metashape, seguimos o seguinte procedimento: acesse File > Export > Export Reference> selecione o arquivo .txt contendo os dados dos GCPs.

Uma vez inseridos os GCPs, o próximo passo é ajustar as imagens com base nesses pontos de controle. Para isso, utilizamos a ferramenta Filter Photos By Markers, que filtra as imagens relacionadas a um GCP específico. O processo envolve: selecionar um GCP no painel de controle, clicar com o botão direito e selecionar Filter Photos By Markers. O software selecionará automaticamente as imagens que contêm o GCP, permitindo o ajuste fino dessas imagens com base nos alvos marcados em campo.

Repetimos esse processo para todos os GCPs, garantindo que cada um esteja corretamente posicionado no modelo. Esse procedimento melhora a acurácia geoespacial do modelo, ajustando-o para coordenadas georreferenciadas.

Após ajustar todos os GCPs, é realizado um terceiro alinhamento. Finalizado esse processo, geramos um novo relatório que será comparado com o relatório inicial. Essa comparação é essencial para verificar se as correções realizadas atendem aos critérios de precisão e qualidade definidos para o projeto. Esse ciclo de refinamento assegura que o levantamento aerofotogramétrico esteja dentro dos padrões exigidos para georreferenciamento

de imóveis rurais, garantindo a confiabilidade e acurácia dos resultados finais.

Uma vez que as imagens estão alinhadas e georreferenciada a nuvem de pontos esparsos é gerada, o próximo passo é criar uma nuvem de pontos densa. Essa nuvem densa é uma versão muito mais detalhada da superfície em estudo e é gerada com base na correspondência dos pontos entre as imagens. O software permite escolher a qualidade da nuvem de pontos, variando de Ultra High (ultra alta) até Low (baixa), dependendo da necessidade de detalhamento e da capacidade de processamento do hardware disponível.

A partir da nuvem de pontos densa, é possível gerar uma malha tridimensional que representa a superfície do objeto ou área estudada. Essa malha é composta por uma rede de polígonos que conectam os pontos da nuvem densa. O Agisoft Metashape oferece diferentes modos de criação de malhas, como o modo Arbitrary (para superfícies complexas) ou Height Field (para superfícies mais planas, como terrenos).

Uma vez que a malha 3D está pronta, é possível aplicar texturas sobre essa superfície, utilizando as próprias imagens originais como base. O processo de texturização projeta as cores e detalhes das fotos diretamente sobre a malha tridimensional, resultando em um modelo mais realista e visualmente rico.

Dependendo do objetivo do projeto, é possível gerar um Modelo de Superfície Digital (DSM) ou um Modelo Digital de Terreno (DTM). O DSM representa a superfície que inclui todos os objetos elevados, como edifícios e árvores, enquanto o DTM mostra apenas o relevo do terreno, excluindo as estruturas elevadas. Essa etapa é importante para análises geoespaciais e é configurada diretamente no menu Workflow > Build DEM (Digital Elevation Model).

Com base no DSM ou DTM, é realizada a criação do ortomosaico. O ortomosaico é uma imagem bidimensional composta a partir das fotos originais, mas corrigida para eliminar distorções devido ao ângulo da câmera e ao relevo do terreno. Esse produto é fundamental em mapeamentos geoespaciais, pois permite medições precisas e análise de grandes áreas.

Após a conclusão do processamento, o Agisoft Metashape permite a exportação dos resultados em uma variedade de formatos. Dependendo do objetivo do projeto, é possível exportar a nuvem de pontos, a malha 3D, o ortomosaico e o modelo de elevação digital. Esses arquivos podem ser utilizados em softwares de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), modelagem 3D ou outras plataformas de análise

3. RESULTADOS

O levantamento aerofotogramétrico para georreferenciamento de imóveis rurais apresenta-se como uma ferramenta confiável, desde que utilizado adequadamente e em conformidade com as normas técnicas. A comparação entre as coordenadas obtidas no modelo gerado no Agisoft Metashape e as coordenadas dos pontos de controle em campo (GCPs) mostrou que não houve alterações significativas, confirmando a precisão do processo.

Os valores iniciais dos erros, entre 3,5 metros e 5,0 metros, sem o uso de GCPs, indicam a importância de utilizar pontos de controle no processamento para aumentar a precisão. Após o processamento das imagens com os GCPs, os erros foram reduzidos para entre 7,4 centímetros e 7,6 centímetros, o que demonstra a precisão alcançada após a calibração dos dados com esses pontos de controle.

Foi constatado que, para levantamentos de imóveis rurais com fins de regularização fundiária, temos levantamentos onde é necessário obter mais detalhes a adoção de voos a 60 metros de altura com sobreposição lateral de 75% e frontal de 75% é uma estratégia eficaz. Essa configuração permite a otimização do número de imagens, o tempo de voo e o consumo de bateria, sem comprometer a qualidade e a acurácia dos resultados.

Em cenários onde é necessário maximizar a eficiência, pode-se optar por voos a 80 metros de altura, mantendo as mesmas sobreposições (75% lateral e frontal). Isso resulta em um tempo de voo ainda menor, com menos imagens capturadas, mas mantendo a mesma qualidade e precisão nos resultados. Assim, tanto para voos mais baixos quanto para maiores altitudes, os levantamentos aerofotogramétricos demonstram ser uma solução eficaz para o georreferenciamento de imóveis rurais.

O Modelo Digital de Elevação (DEM) é um arquivo digital que representa a variação de altitude da superfície terrestre (Figura 3). Ele fornece a elevação de cada ponto em relação ao nível do mar, capturando o relevo do terreno de forma precisa.

O ortomosaico é uma imagem gerada a partir de múltiplas fotografias aéreas sobrepostas e ortorretificadas, ou seja, corrigidas para remover distorções causadas pela perspectiva da câmera e variações do terreno (Figura 4). Após esse processamento, cada ponto do ortomosaico possui coordenadas geográficas precisas, permitindo medições diretas de áreas, distâncias e ângulos com precisão cartográfica. É amplamente utilizado em mapeamento, georreferenciamento e agricultura de precisão, fornecendo uma visão detalhada do terreno.

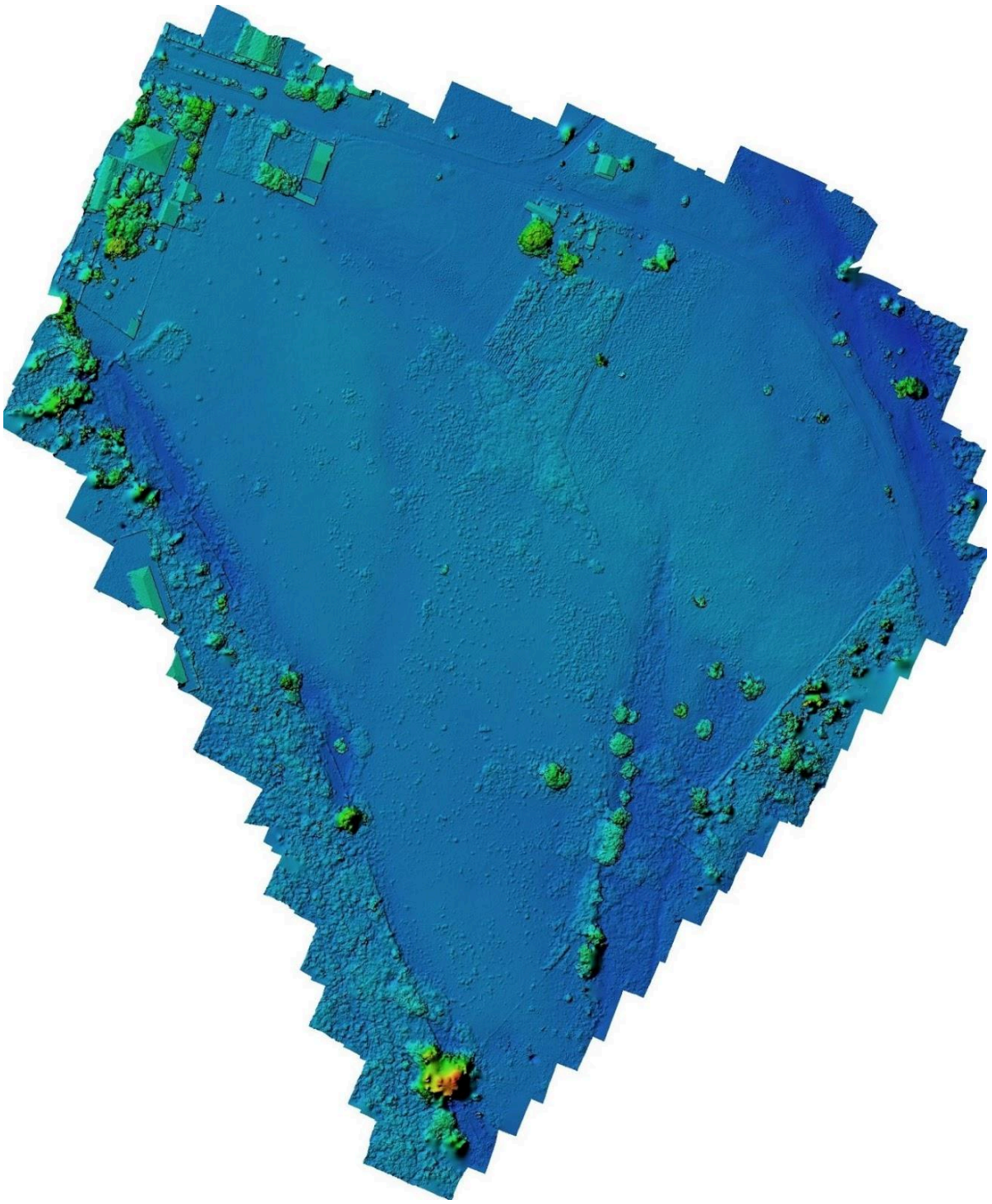

Figura 3. Modelo Digital de Elevação (DEM).

Figura 4. Ortomosaico Ortorretificado.

4. CONCLUSÕES

Com base nas análises dos dados obtidos podemos comprovar que o levantamento aerofotogramétrico com processamento de imagens via GCPs garante alta precisão e confiabilidade. A otimização das alturas de voo e sobreposições contribui para a eficiência do processo, permitindo sua aplicação de forma prática e econômica no georreferenciamento de propriedades rurais. Onde a avaliação de produtos aerofotogramétricos na determinação de coordenadas de vértices de imóveis rurais se destaca pela eficiência e a precisão dessa tecnologia no contexto do georreferenciamento e da regularização fundiária no Brasil.

A aerofotogrametria, quando comparada a métodos tradicionais como o levantamento topográfico e o GNSS, apresenta vantagens claras, como maior agilidade no mapeamento de grandes áreas, menor custo operacional e alta precisão nas medições, desde que realizada com rigor técnico.

Com o avanço das legislações, como a Lei 10.267/2001, e as exigências do INCRA para a certificação de imóveis rurais, torna-se imprescindível adotar técnicas que garantam conformidade com os parâmetros de precisão e eficiência exigidos. O uso de tecnologias de sensoriamento remoto, combinado com softwares avançados de processamento de imagens, demonstra ser uma solução robusta para enfrentar os desafios de regularização fundiária em larga escala.

Portanto, este estudo reforça a importância da aerofotogrametria como uma ferramenta essencial para otimizar o processo de georreferenciamento rural no Brasil, contribuindo significativamente para a modernização e sustentabilidade da gestão territorial no país.

5. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICAS

CORREA, Priscila Marques *et al.* **Topografia e geoprocessamento**. Porto Alegre: SAGAH, 2017.

INCRA. **Incra lança 2ª edição do Manual para Georreferenciamento de Imóveis Rurais.** Publicado em 23/12/2022. Disponível em: https://www.gov.br/incra/pt-br/assuntos/noticias/incra-lanca-2a-edicao-do-manual-para-georreferenciamento-de-imoveis - rurais. Acesso em: 18 jul. 2023.

INCRA. **Manual Técnico para o Georreferenciamento de Imóveis Rurais** – 2ª Edição. Brasília, 2022. Aprovado pela Portaria Nº 2.502, de 22 de dezembro de 2022, publicada no Diário Oficial da União no dia 23 de dezembro de 2022. Disponível em: https://www.gov.br/incra/pt-br/assuntos/governanca-fundiaria/Manual_Tecnico_de_Georreferenciamento_2_Edicao.pdf. Acesso em: 20 jul. 2023.

INSTITUTO DE REGISTRO IMOBILIÁRIO DO BRASIL (IRIB). **Incra anuncia Norma para uso de Aerofotogrametria no Georreferenciamento**. Publicado em 22/02/2018. Disponível em: https://www.irib.org.br/noticias/detalhes/incra-anuncia-norma-para-uso-de-aerofotogrametria-no-georreferenciamento. Acesso em: 20 jul. 2023.

LIMA, Luís Antonio de. **Avaliação da técnica de georreferenciamento direto em mapeamento aerofotogramétrico**. Campinas: 2016. Disponível em: http://repositorio.unicamp.br/Acervo/Detalhe/965758. Acesso em: 26 jul. 2023.

SILVA, Irineu da; SEGANTINA, Paulo. **Topografia para engenharia:** teoria e prática de geomática. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2023.

STEIN, Ronei Tiago *et al.* **Cartografia digital e sensoriamento remoto**. Porto Alegre: SAGAH, 2020.

ANEXOS

LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1. Relatório do voo com 60 metros de altitude e sobreposição de 75x75% sem pontos de controle..... 17

ANEXO 2. Relatório do voo com 60 metros de altitude e sobreposição de 75x75% com pontos de controle..... 23

ANEXO 3. Relatório do voo com 80 metros de altitude e sobreposição de 75x75% sem pontos de controle..... 31

ANEXO 4. Relatório do voo com 80 metros de altitude e sobreposição de 75x75% com pontos de controle..... 36

ANEXO 5. Relatório do voo com 80 metros de altitude e sobreposição 80x80% sem pontos de controle..... 44

ANEXO 6. Relatório do voo com 80 metros de altitude e sobreposição de 80x80% com pontos de controle..... 49

ANEXO 1. Relatório do voo com 60 metros de altitude e sobreposição de 75x75% sem pontos de controle.

Survey Data

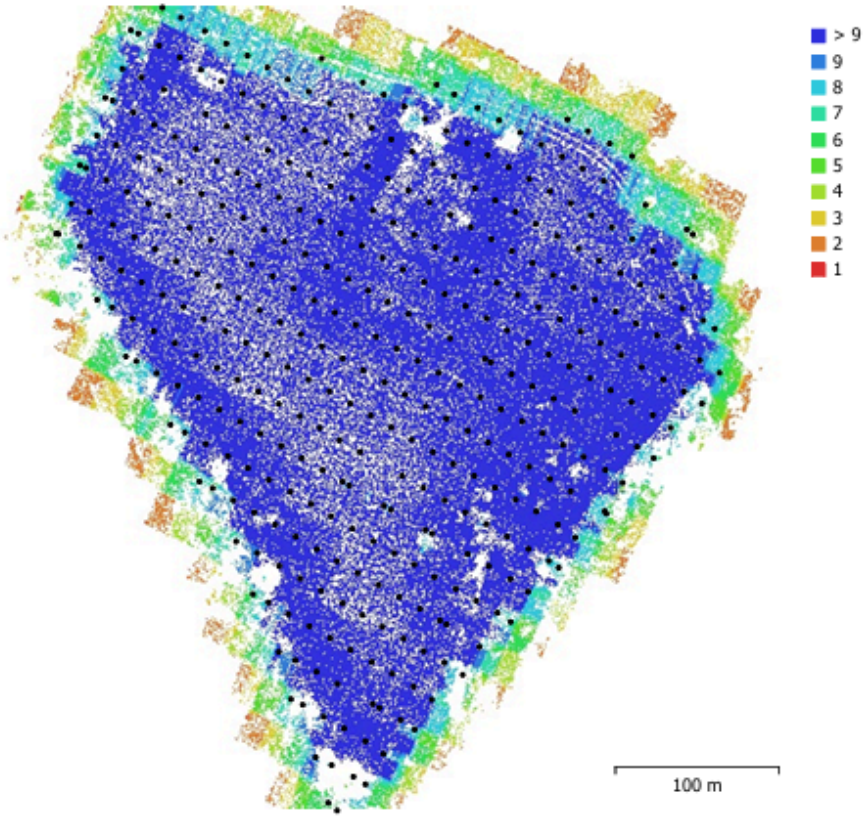

Fig. 1. Camera locations and image overlap.

Number of images:	377	Camera stations:	377
Flying altitude:	60.9 m	Tie points:	304,339
Ground resolution:	1.64 cm/pix	Projections:	1,366,496
Coverage area:	0.102 km²	Reprojection error:	1.31 pix

Camera Model	Resolution	Focal Length	Pixel Size	Precalibrated
FC6310 (8.8mm)	4864 x 3648	8.8 mm	2.61 x 2.61 µm	No

Table 1. Cameras.

Camera Calibration

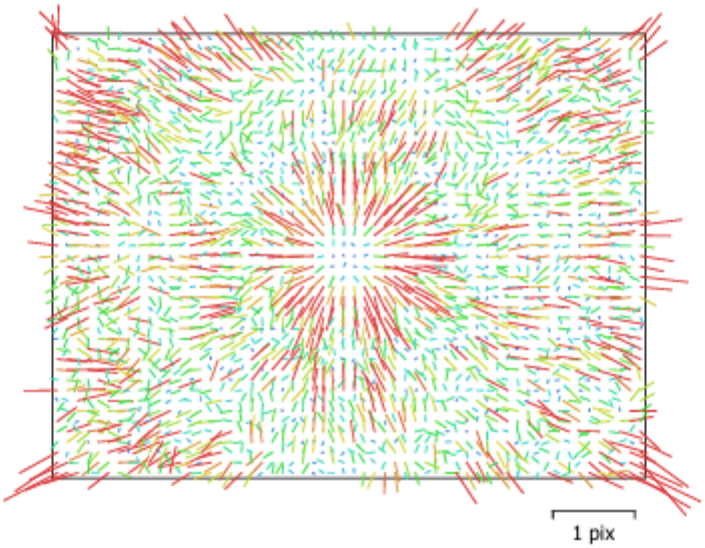

Fig. 2. Image residuals for FC6310 (8.8mm).

FC6310 (8.8mm)

377 images

Type	Resolution	Focal Length	Pixel Size
Frame	**4864 x 3648**	**8.8 mm**	**2.61 x 2.61 µm**

	Value	Error	F	Cx	Cy	K1	K2	K3	P1	P2
F	**3721.93**	12	1.00	0.67	0.87	0.20	-0.92	0.96	-0.67	-0.94
Cx	**-14.4559**	0.17		1.00	0.60	0.12	-0.61	0.65	-0.39	-0.64
Cy	**4.42468**	0.21			1.00	0.17	-0.80	0.84	-0.58	-0.81
K1	**0.00328985**	0.00012				1.00	-0.32	0.29	-0.00	-0.08
K2	**-0.0241901**	0.00034					1.00	-0.99	0.61	0.87
K3	**0.026791**	0.00054						1.00	-0.64	-0.91
P1	**-0.000605241**	3e-06							1.00	0.64
P2	**-0.00168321**	5.8e-06								1.00

Table 2. Calibration coefficients and correlation matrix.

Camera Locations

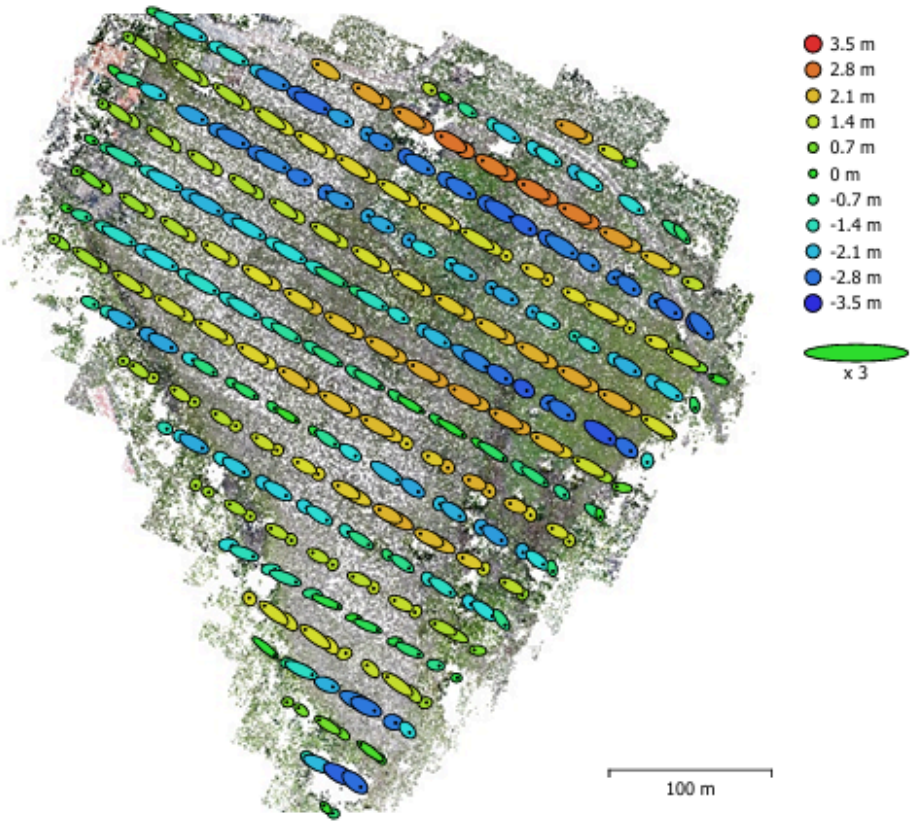

Fig. 3. Camera locations and error estimates.
Z error is represented by ellipse color. X,Y errors are represented by ellipse shape.
Estimated camera locations are marked with a black dot.

X error (m)	Y error (m)	Z error (m)	XY error (m)	Total error (m)
2.68576	1.59015	1.79952	3.1212	3.6028

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

Digital Elevation Model

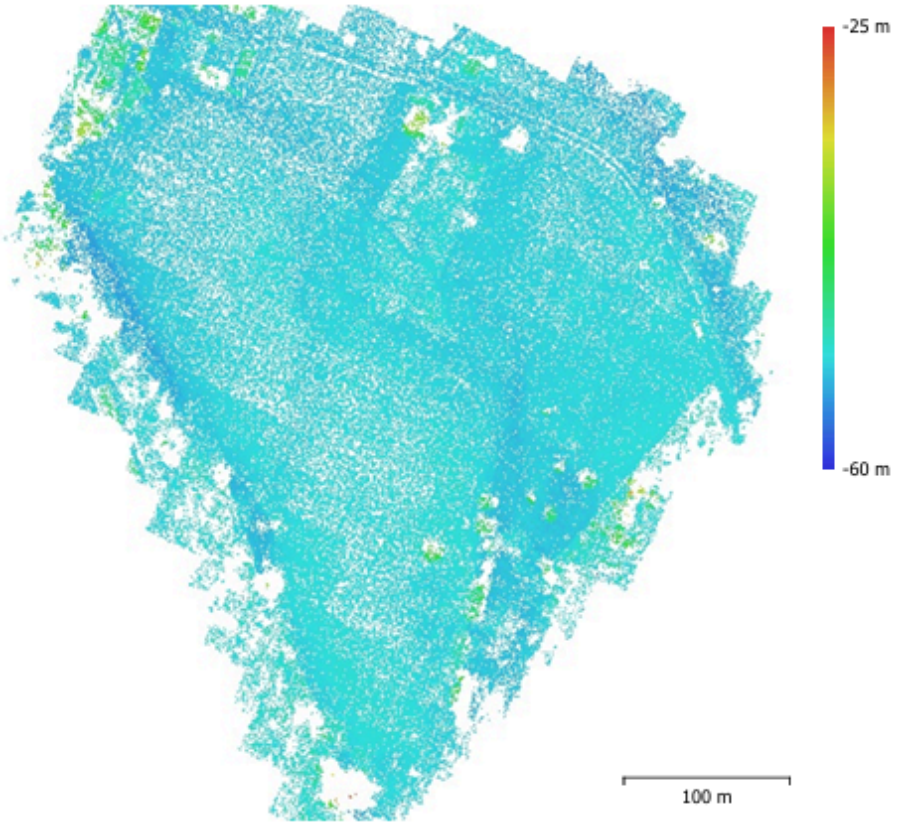

Fig. 4. Reconstructed digital elevation model.

Resolution:	unknown
Point density:	unknown

Processing Parameters

General	
Cameras	377
Aligned cameras	377
Coordinate system	SIRGAS 2000 / UTM zone 24S (EPSG::31984)
Rotation angles	Yaw, Pitch, Roll
Point Cloud	
Points	304,339 of 330,186
RMS reprojection error	0.139439 (1.31128 pix)
Max reprojection error	0.419532 (36.77 pix)
Mean key point size	8.02107 pix
Point colors	3 bands, uint8
Key points	No
Average tie point multiplicity	4.64697
Alignment parameters	
Accuracy	Medium
Generic preselection	Yes
Reference preselection	Source
Key point limit	40,000
Key point limit per Mpx	1,000
Tie point limit	4,000
Exclude stationary tie points	Yes
Guided image matching	No
Adaptive camera model fitting	No
Matching time	2 minutes 9 seconds
Matching memory usage	384.61 MB
Alignment time	1 minutes 40 seconds
Alignment memory usage	132.95 MB
Date created	2024:09:24 22:49:05
Software version	1.8.5.15407
File size	43.03 MB
System	
Software name	Agisoft Metashape Professional
Software version	1.8.5 build 15407
OS	Windows 64 bit
RAM	7.36 GB
CPU	AMD Ryzen 7 5800H with Radeon Graphics
GPU(s)	NVIDIA GeForce GTX 1650

ANEXO 2. Relatório do voo com 60 metros de altitude e sobreposição de 75x75% com pontos de controle.

Survey Data

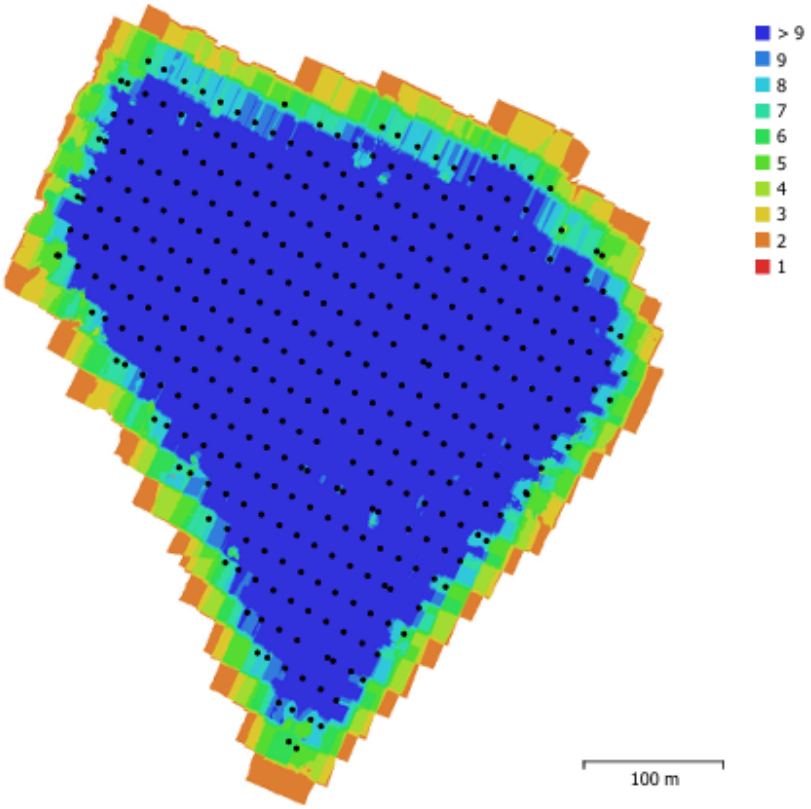

Fig. 1. Camera locations and image overlap.

Number of images:	377	Camera stations:	377
Flying altitude:	39.9 m	Tie points:	302,363
Ground resolution:	1.57 cm/pix	Projections:	1,351,347
Coverage area:	0.157 km²	Reprojection error:	1.45 pix

Camera Model	Resolution	Focal Length	Pixel Size	Precalibrated
FC6310 (8.8mm)	4864 x 3648	8.8 mm	2.61 x 2.61 µm	No

Table 1. Cameras.

Camera Calibration

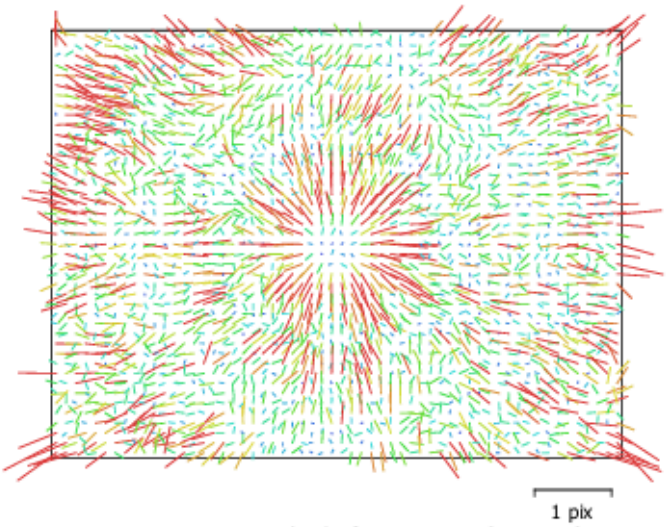

Fig. 2. Image residuals for FC6310 (8.8mm).

FC6310 (8.8mm)

377 images

Type	Resolution	Focal Length	Pixel Size
Frame	**4864 x 3648**	**8.8 mm**	**2.61 x 2.61 µm**

	Value	Error	F	Cx	Cy	K1	K2	K3	P1	P2
F	**2313.05**	4.5	1.00	0.16	0.30	0.24	-0.75	0.87	-0.38	-0.81
Cx	**-25.3162**	0.16		1.00	0.08	0.03	-0.12	0.14	-0.04	-0.13
Cy	**-10.9274**	0.14			1.00	0.07	-0.23	0.26	-0.11	-0.25
K1	**0.0012489**	1.9e-05				1.00	-0.80	0.65	-0.10	-0.20
K2	**-0.00376693**	3.9e-05					1.00	-0.97	0.29	0.61
K3	**0.00160338**	2.2e-05						1.00	-0.33	-0.71
P1	**-0.000370714**	1.9e-06							1.00	0.28
P2	**-0.00104017**	2.5e-06								1.00

Table 2. Calibration coefficients and correlation matrix.

Camera Locations

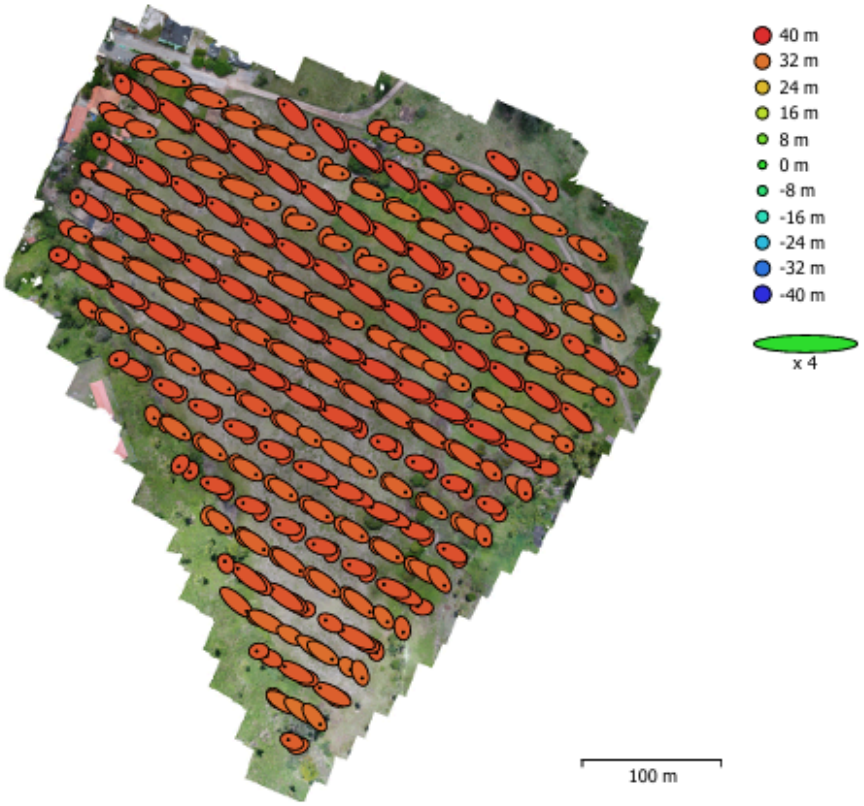

Fig. 3. Camera locations and error estimates.
Z error is represented by ellipse color. X,Y errors are represented by ellipse shape.
Estimated camera locations are marked with a black dot.

X error (m)	Y error (m)	Z error (m)	XY error (m)	Total error (m)
2.65768	1.63997	35.449	3.12294	35.5863

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

Ground Control Points

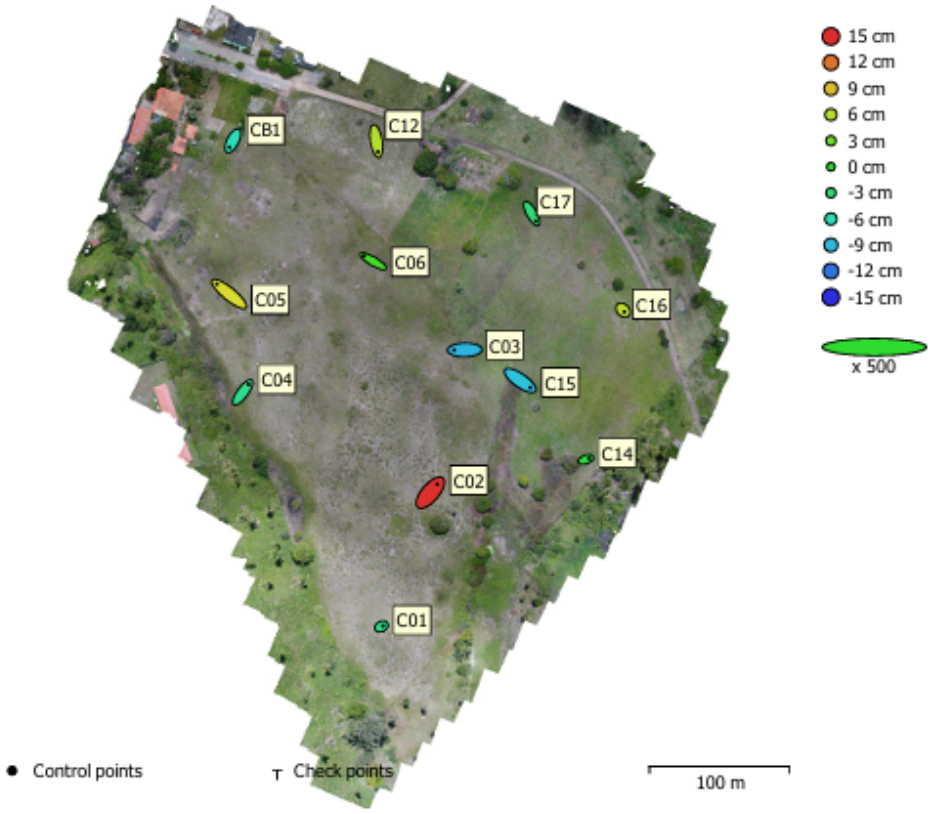

Fig. 4. GCP locations and error estimates.
Z error is represented by ellipse color. X,Y errors are represented by ellipse shape.
Estimated GCP locations are marked with a dot or crossing.

Count	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	XY error (cm)	Total (cm)
12	1.98041	1.88645	6.96216	2.73509	7.48013

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)
C12	0.501673	-3.05742	5.89972	6.66379	1.738 (11)
C05	-3.4915	2.82403	7.26499	8.54083	1.768 (12)
C14	0.954468	0.320313	-0.803021	1.28781	0.696 (11)
C03	-2.9972	-0.0584234	-9.18457	9.66141	3.018 (11)
C01	0.403057	0.194742	-3.87719	3.90295	0.712 (15)
C16	0.413124	-0.423714	6.16848	6.1968	1.133 (13)
C02	2.01048	2.34315	14.8646	15.1819	3.225 (12)
C04	1.69943	2.29579	-4.13177	5.02297	0.745 (15)
C15	2.85741	-1.99378	-8.53465	9.21848	2.369 (11)
C06	-2.62574	1.53352	0.901087	3.17146	0.838 (11)
C17	1.22526	-2.151	-2.91948	3.82772	0.746 (14)
CB1	-0.950874	-1.82842	-5.98207	6.32712	1.658 (10)
Total	**1.98041**	**1.88645**	**6.96216**	**7.48013**	**1.733**

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

Digital Elevation Model

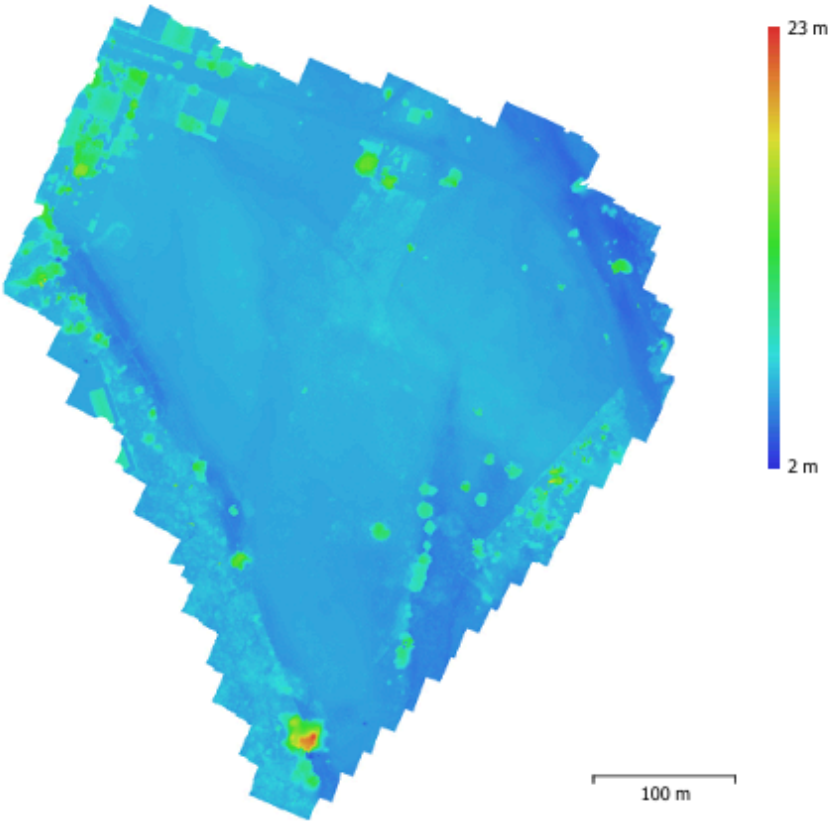

Fig. 5. Reconstructed digital elevation model.

Resolution:	12.6 cm/pix
Point density:	63.2 points/m²

Processing Parameters

General	
Cameras	377
Aligned cameras	377
Markers	12
Coordinate system	SIRGAS 2000 / UTM zone 24S (EPSG::31984)
Rotation angles	Yaw, Pitch, Roll
Point Cloud	
Points	302,363 of 330,184
RMS reprojection error	0.157212 (1.44581 pix)
Max reprojection error	0.478133 (46.7807 pix)
Mean key point size	8.08655 pix
Point colors	3 bands, uint8
Key points	No
Average tie point multiplicity	4.64701
Alignment parameters	
Accuracy	Medium
Generic preselection	Yes
Reference preselection	Source
Key point limit	40,000
Key point limit per Mpx	1,000
Tie point limit	4,000
Exclude stationary tie points	Yes
Guided image matching	No
Adaptive camera model fitting	No
Matching time	3 minutes 42 seconds
Matching memory usage	377.67 MB
Alignment time	4 minutes 10 seconds
Alignment memory usage	104.01 MB
Date created	2024:10:09 19:07:26
Software version	1.8.5.15407
File size	31.33 MB
Depth Maps	
Count	377
Depth maps generation parameters	
Quality	Low
Filtering mode	Mild
Max neighbors	16
Processing time	19 minutes 10 seconds
Memory usage	799.69 MB
Date created	2024:10:10 13:13:10
Software version	1.8.5.15407
File size	179.00 MB
Dense Point Cloud	
Points	10,354,753
Point colors	3 bands, uint8
Depth maps generation parameters	
Quality	Low
Filtering mode	Mild
Max neighbors	16
Processing time	19 minutes 10 seconds

Memory usage	799.69 MB
Dense cloud generation parameters	
Processing time	4 minutes 26 seconds
Memory usage	1.28 GB
Date created	2024:10:10 13:17:35
Software version	1.8.5.15407
File size	149.22 MB
DEM	
Size	3,747 x 4,558
Coordinate system	SIRGAS 2000 / UTM zone 24S (EPSG::31984)
Reconstruction parameters	
Source data	Dense cloud
Interpolation	Enabled
Processing time	19 seconds
Memory usage	164.31 MB
Date created	2024:10:10 13:20:37
Software version	1.8.5.15407
File size	46.53 MB
Orthomosaic	
Size	29,975 x 36,463
Coordinate system	SIRGAS 2000 / UTM zone 24S (EPSG::31984)
Colors	3 bands, uint8
Reconstruction parameters	
Blending mode	Mosaic
Surface	DEM
Enable hole filling	Yes
Enable ghosting filter	No
Processing time	17 minutes 9 seconds
Memory usage	1.37 GB
Date created	2024:10:10 13:33:22
Software version	1.8.5.15407
File size	8.83 GB
System	
Software name	Agisoft Metashape Professional
Software version	1.8.5 build 15407
OS	Windows 64 bit
RAM	7.43 GB
CPU	Intel(R) Core(TM) i5-7600 CPU @ 3.50GHz
GPU(s)	Intel(R) HD Graphics 630

ANEXO 3. Relatório do voo com 80 metros de altitude e sobreposição de 75x75% sem pontos de controle.

Survey Data

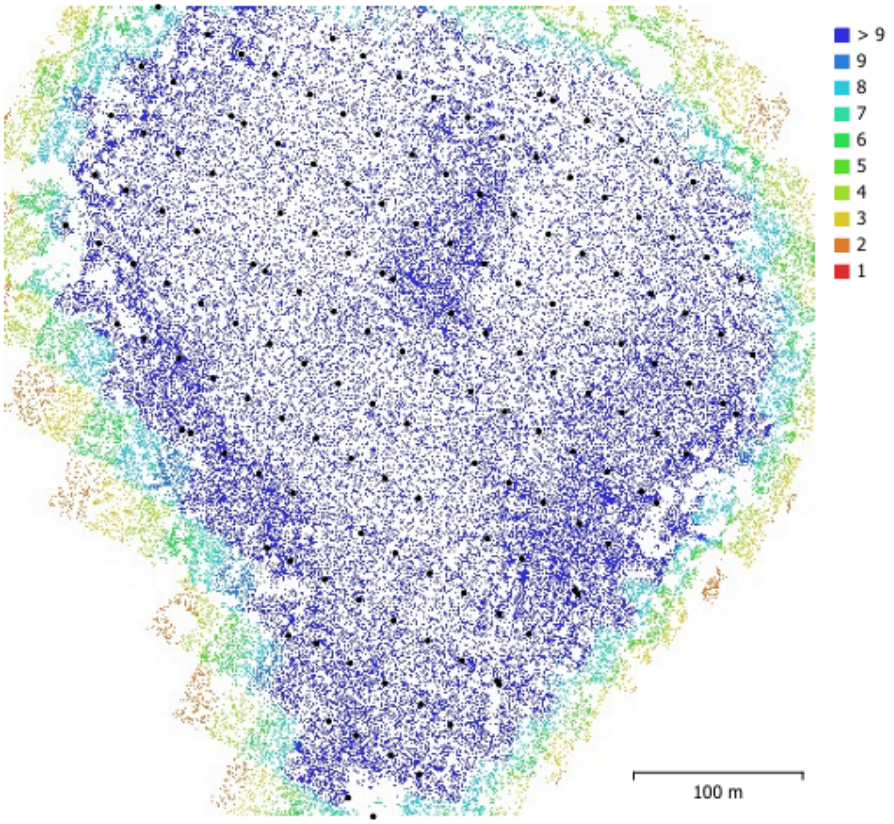

Fig. 1. Camera locations and image overlap.

Number of images:	153	Camera stations:	153
Flying altitude:	124 m	Tie points:	80,726
Ground resolution:	3.36 cm/pix	Projections:	548,710
Coverage area:	0.0514 km²	Reprojection error:	1.05 pix

Camera Model	Resolution	Focal Length	Pixel Size	Precalibrated
FC6310 (8.8mm)	4864 x 3648	8.8 mm	2.61 x 2.61 µm	No

Table 1. Cameras.

Camera Calibration

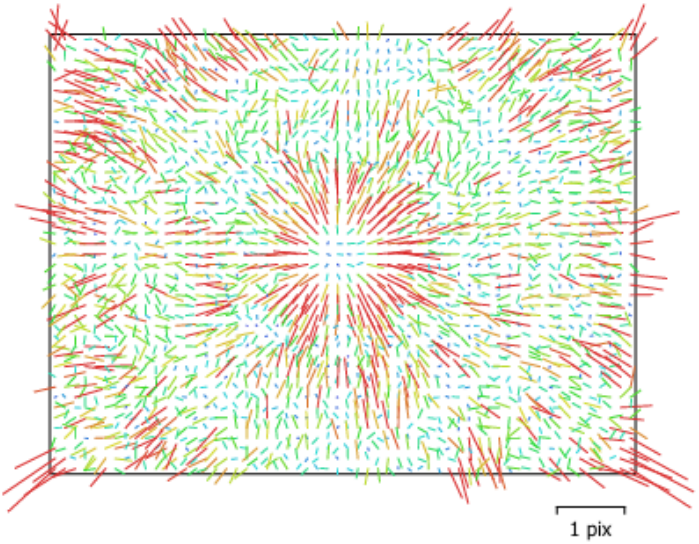

Fig. 2. Image residuals for FC6310 (8.8mm).

FC6310 (8.8mm)

153 images

Type	Resolution	Focal Length	Pixel Size
Frame	**4864 x 3648**	**8.8 mm**	**2.61 x 2.61 µm**

	Value	Error	F	Cx	Cy	K1	K2	K3	P1	P2
F	**3706.28**	14	1.00	0.85	0.75	0.16	-0.90	0.96	-0.50	-0.95
Cx	**-13.7776**	0.34		1.00	0.65	0.11	-0.77	0.81	-0.41	-0.81
Cy	**4.58647**	0.22			1.00	0.10	-0.68	0.72	-0.40	-0.70
K1	**0.00399812**	0.00021				1.00	-0.28	0.25	0.46	-0.03
K2	**-0.0223687**	0.00038					1.00	-0.99	0.43	0.85
K3	**0.0246623**	0.00059						1.00	-0.46	-0.90
P1	**-0.000479658**	3.7e-06							1.00	0.54
P2	**-0.00173426**	7e-06								1.00

Table 2. Calibration coefficients and correlation matrix.

Camera Locations

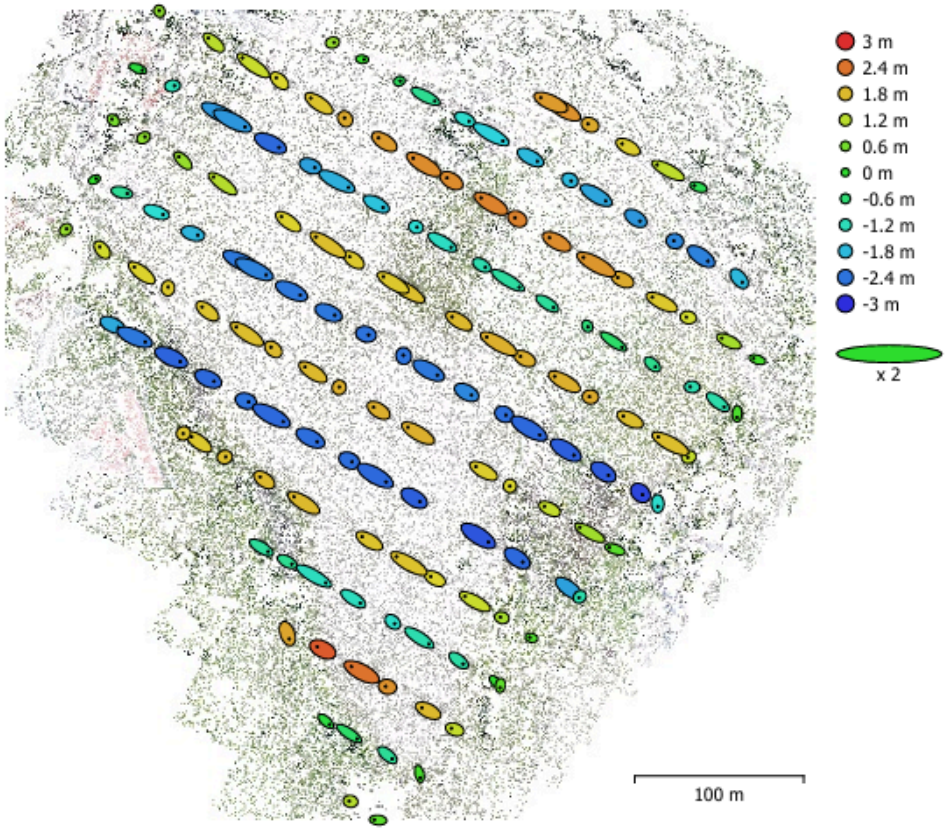

Fig. 3. Camera locations and error estimates.
Z error is represented by ellipse color. X,Y errors are represented by ellipse shape.
Estimated camera locations are marked with a black dot.

X error (m)	Y error (m)	Z error (m)	XY error (m)	Total error (m)
4.03905	2.36733	1.72201	4.68168	4.98833

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

Digital Elevation Model

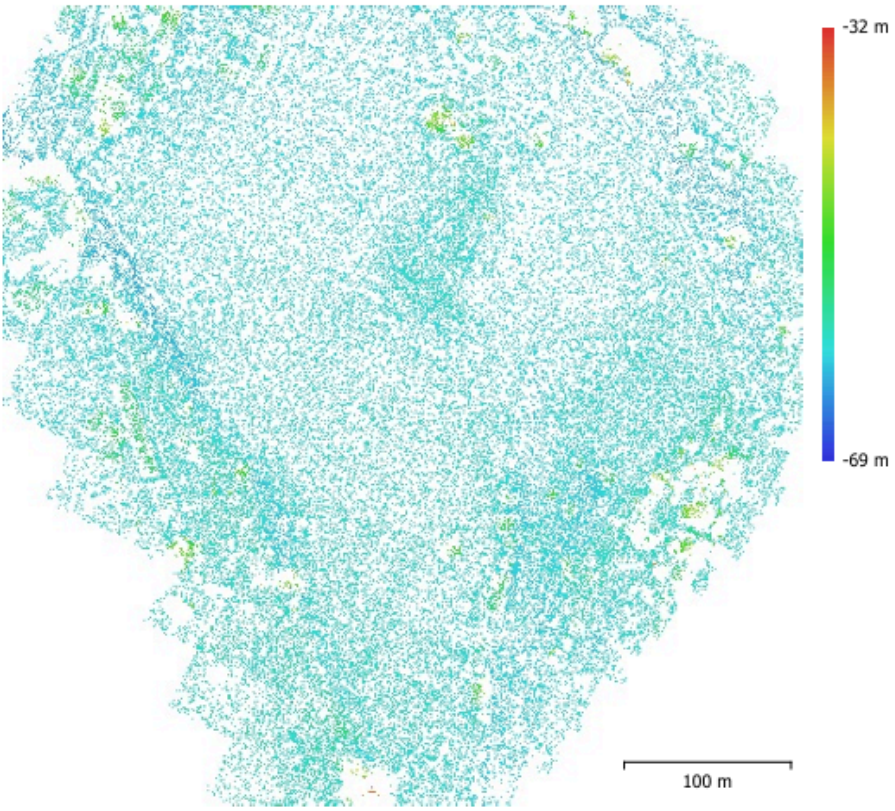

Fig. 4. Reconstructed digital elevation model.

Resolution:	unknown
Point density:	unknown

Processing Parameters

General	
Cameras	153
Aligned cameras	153
Coordinate system	SIRGAS 2000 / UTM zone 24S (EPSG::31984)
Rotation angles	Yaw, Pitch, Roll
Point Cloud	
Points	80,726 of 91,777
RMS reprojection error	0.138572 (1.05198 pix)
Max reprojection error	0.417362 (44.0824 pix)
Mean key point size	6.59742 pix
Point colors	3 bands, uint8
Key points	No
Average tie point multiplicity	7.14708
Alignment parameters	
Accuracy	Medium
Generic preselection	Yes
Reference preselection	Source
Key point limit	40,000
Key point limit per Mpx	1,000
Tie point limit	4,000
Exclude stationary tie points	Yes
Guided image matching	No
Adaptive camera model fitting	No
Matching time	1 minutes 38 seconds
Matching memory usage	323.52 MB
Alignment time	1 minutes 24 seconds
Alignment memory usage	113.10 MB
Date created	2024:09:25 12:56:57
Software version	1.8.5.15407
File size	17.12 MB
System	
Software name	Agisoft Metashape Professional
Software version	1.8.5 build 15407
OS	Windows 64 bit
RAM	7.36 GB
CPU	AMD Ryzen 7 5800H with Radeon Graphics
GPU(s)	NVIDIA GeForce GTX 1650

ANEXO 4. Relatório do voo com 80 metros de altitude e sobreposição de 75x75% com pontos de controle.

Survey Data

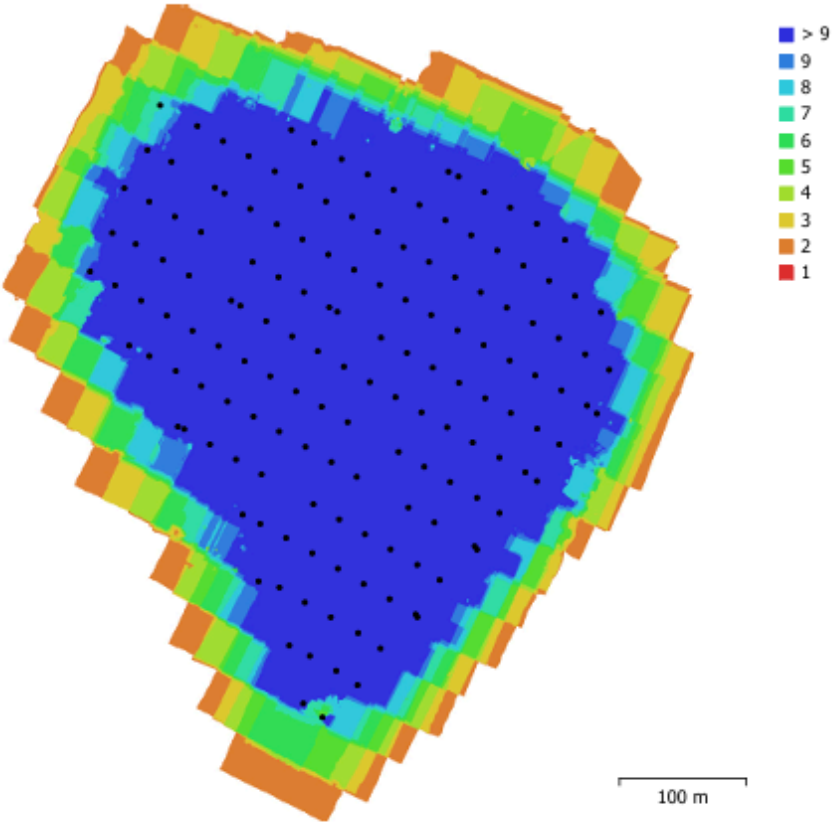

Fig. 1. Camera locations and image overlap.

Number of images:	153	Camera stations:	153
Flying altitude:	92.4 m	Tie points:	77,566
Ground resolution:	3.26 cm/pix	Projections:	495,523
Coverage area:	0.222 km^2	Reprojection error:	1.27 pix

Camera Model	Resolution	Focal Length	Pixel Size	Precalibrated
FC6310 (8.8mm)	4864 x 3648	8.8 mm	2.61 x 2.61 um	Não

Table 1. Cameras.

Calibração da Câmara

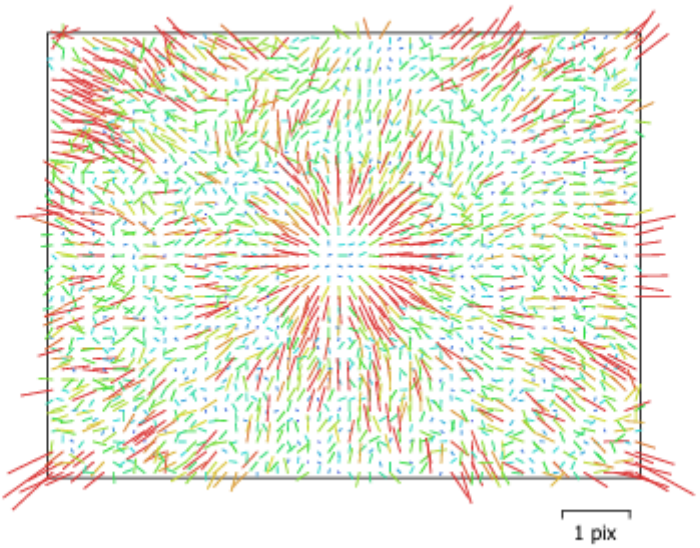

Fig. 2. Image residuals for FC6310 (8.8mm).

FC6310 (8.8mm)

153 images

Type	Resolution	Focal Length	Pixel Size
Frame	**4864 x 3648**	**8.8 mm**	**2.61 x 2.61 um**

	Valor	Error	F	Cx	Cy	K1	K2	K3	P1	P2
F	**2655.35**	4.8	1.00	0.22	0.16	0.23	-0.51	0.68	-0.17	-0.62
Cx	**-35.2873**	0.32		1.00	0.05	0.06	-0.12	0.16	-0.00	-0.12
Cy	**-2.43324**	0.26			1.00	0.03	-0.07	0.10	-0.03	-0.08
K1	**0.00344212**	4.4e-05				1.00	-0.92	0.81	-0.04	-0.15
K2	**-0.00633814**	9.1e-05					1.00	-0.97	0.09	0.32
K3	**0.00357648**	5.8e-05						1.00	-0.13	-0.42
P1	**-0.000325071**	3.4e-06							1.00	0.07
P2	**-0.00122794**	3.6e-06								1.00

Table 2. Calibration coefficients and correlation matrix.

Camera Locations

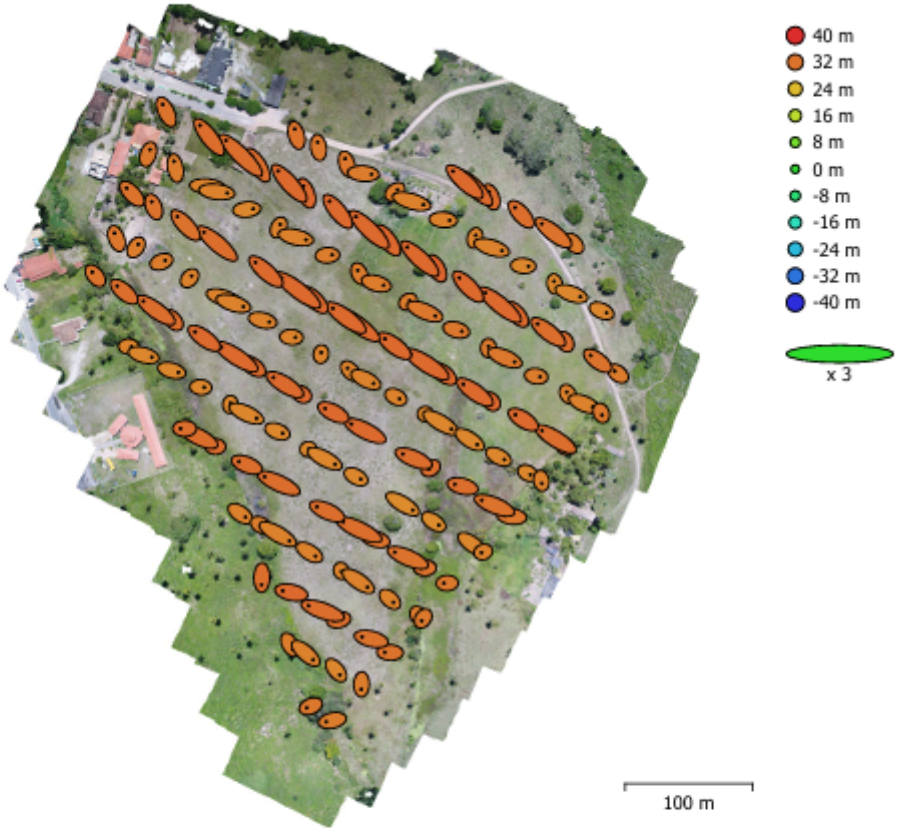

Fig. 3. Camera locations and error estimates.
Z error is represented by ellipse color. X,Y errors are represented by ellipse shape.
Estimated camera locations are marked with a black dot.

X error (m)	Y error (m)	Z error (m)	XY error (m)	Total error (m)
4.0748	2.88513	31.5941	4.99279	31.9862

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

Ground Control Points

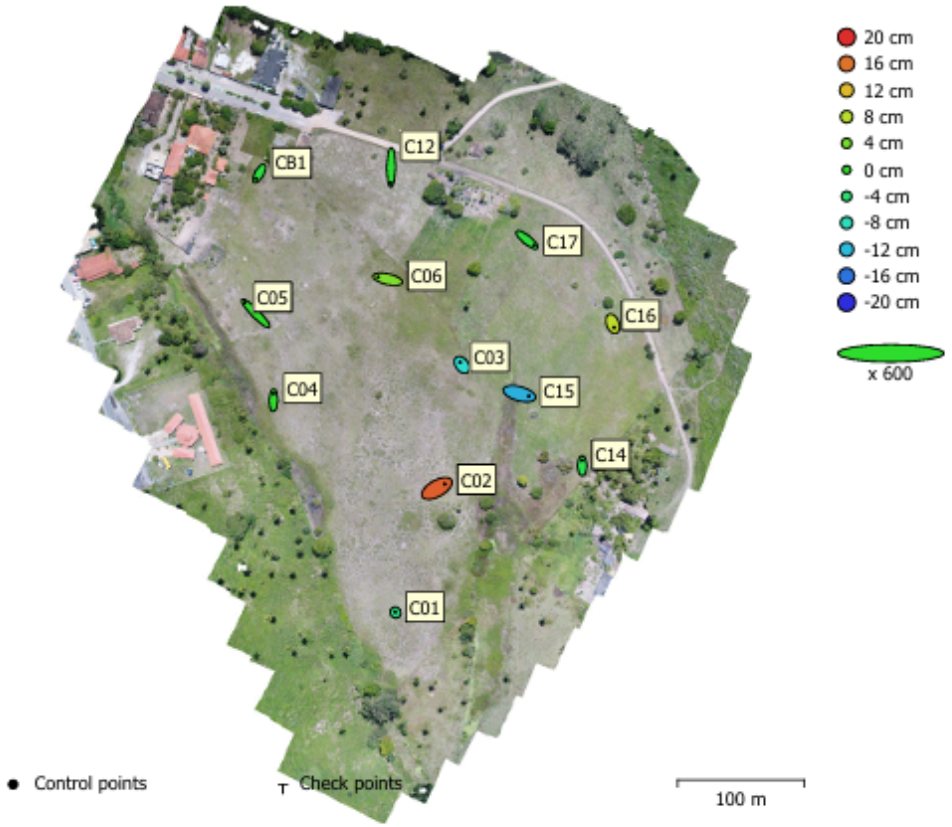

Fig. 4. GCP locations and error estimates.
Z error is represented by ellipse color. X,Y errors are represented by ellipse shape.
Estimated GCP locations are marked with a dot or crossing.

Número	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	XY error (cm)	Total (cm)
12	1.55375	1.764	7.4024	2.35071	7.76668

Table 4. Control points RMSE.
X - Easting, Y - Northing, Z - Altitude.

Rótulo	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	Total (cm)	Imagem (pix)
C12	-0.0536546	-4.05022	-0.498556	4.08115	0.952 (16)
C14	-0.0130263	1.39252	-1.95786	2.40261	0.804 (16)
C15	2.46074	-0.666523	-12.5	12.7573	2.595 (25)
C16	0.389049	-1.00876	8.41825	8.4874	2.140 (21)
C17	1.85268	-1.48649	-0.747099	2.49003	0.830 (21)
C01	-0.0784098	0.139102	-4.70553	4.70824	1.187 (22)
C02	2.01924	1.14071	17.2749	17.4299	4.481 (20)
C03	-0.505571	0.648103	-9.15186	9.1887	3.197 (21)
C04	0.0523172	1.79905	0.171806	1.808	0.657 (20)
C05	-2.84252	2.87243	0.0612815	4.04161	0.841 (19)
C06	-2.51487	0.553795	4.51949	5.20164	1.289 (22)
CB1	-0.762282	-1.33821	-1.00561	1.83933	0.634 (19)
Total	**1.55375**	**1.764**	**7.4024**	**7.76668**	**2.050**

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

Digital Elevation Model

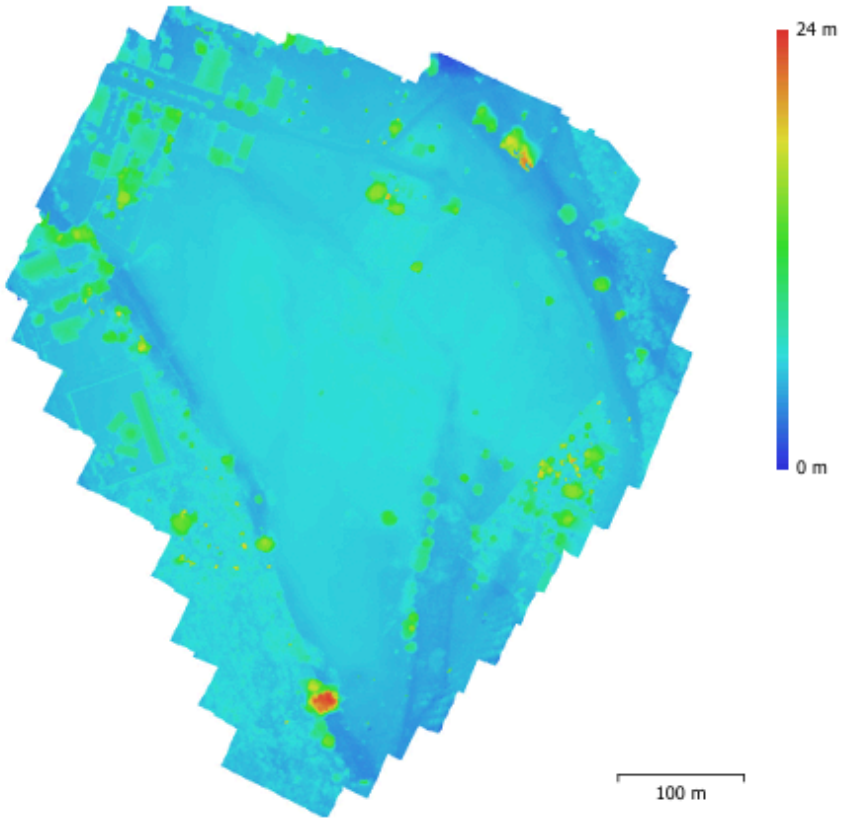

Fig. 5. Reconstructed digital elevation model.

Resolution:	26 cm/pix
Point density:	14.7 points/m^2

Processing Parameters

Geral	
Câmaras	153
Aligned cameras	153
Marcadores	12
Coordinate system	SIRGAS 2000 / UTM zone 24S (EPSG::31984)
Rotation angles	Yaw, Pitch, Roll
Nuvem de Pontos	
Pontos	77,566 of 91,777
RMS reprojection error	0.166181 (1.2713 pix)
Max reprojection error	0.524661 (44.0383 pix)
Mean key point size	6.75351 pix
Cores dos pontos	3 bands, uint8
Key points	Não
Average tie point multiplicity	7.14708
Parâmetros de alinhamento	
Precisão	Média
Generic preselection	Sim
Reference preselection	Source
Key point limit	40,000
Key point limit per Mpx	1,000
Tie point limit	4,000
Exclude stationary tie points	Sim
Guided image matching	Não
Adaptive camera model fitting	Não
Matching time	1 minutes 0 seconds
Matching memory usage	339.49 MB
Alignment time	50 seconds
Alignment memory usage	46.98 MB
Date created	2024:09:25 17:13:33
Software version	1.8.5.15407
File size	12.07 MB
Mapas de Profundidade	
Número	153
Depth maps generation parameters	
Qualidade	Baixa
Filtering mode	Mild
Max neighbors	16
Tempo de processamento	2 minutes 26 seconds
Memory usage	762.68 MB
Date created	2024:10:10 12:56:47
Software version	1.8.5.15407
File size	70.60 MB
Dense Point Cloud	
Pontos	3,652,704
Cores dos pontos	3 bands, uint8
Depth maps generation parameters	
Qualidade	Baixa
Filtering mode	Mild
Max neighbors	16
Tempo de processamento	2 minutes 26 seconds

Memory usage	762.68 MB
Dense cloud generation parameters	
Tempo de processamento	1 minutes 22 seconds
Memory usage	1.62 GB
Date created	2024:10:10 12:58:10
Software version	1.8.5.15407
File size	47.87 MB
DEM	
Tamanho	2,089 x 2,473
Coordinate system	SIRGAS 2000 / UTM zone 24S (EPSG::31984)
Parâmetros de reconstrução	
Source data	Dense cloud
Interpolation	Enabled
Tempo de processamento	8 seconds
Memory usage	148.96 MB
Date created	2024:10:10 13:00:00
Software version	1.8.5.15407
File size	15.65 MB
Orthomosaic	
Tamanho	16,712 x 19,784
Coordinate system	SIRGAS 2000 / UTM zone 24S (EPSG::31984)
Colors	3 bands, uint8
Parâmetros de reconstrução	
Modo de combinação	Mosaico
Surface	DEM
Enable hole filling	Sim
Enable ghosting filter	Não
Tempo de processamento	5 minutes 23 seconds
Memory usage	1.31 GB
Date created	2024:10:10 13:03:46
Software version	1.8.5.15407
File size	3.33 GB
System	
Software name	Agisoft Metashape Professional
Software version	1.8.5 build 15407
OS	Windows 64 bit
RAM	7.36 GB
CPU	AMD Ryzen 7 5800H with Radeon Graphics
GPU(s)	NVIDIA GeForce GTX 1650

ANEXO 5. Relatório do voo com 80 metros de altitude e sobreposição 80x80% sem pontos de controle.

Survey Data

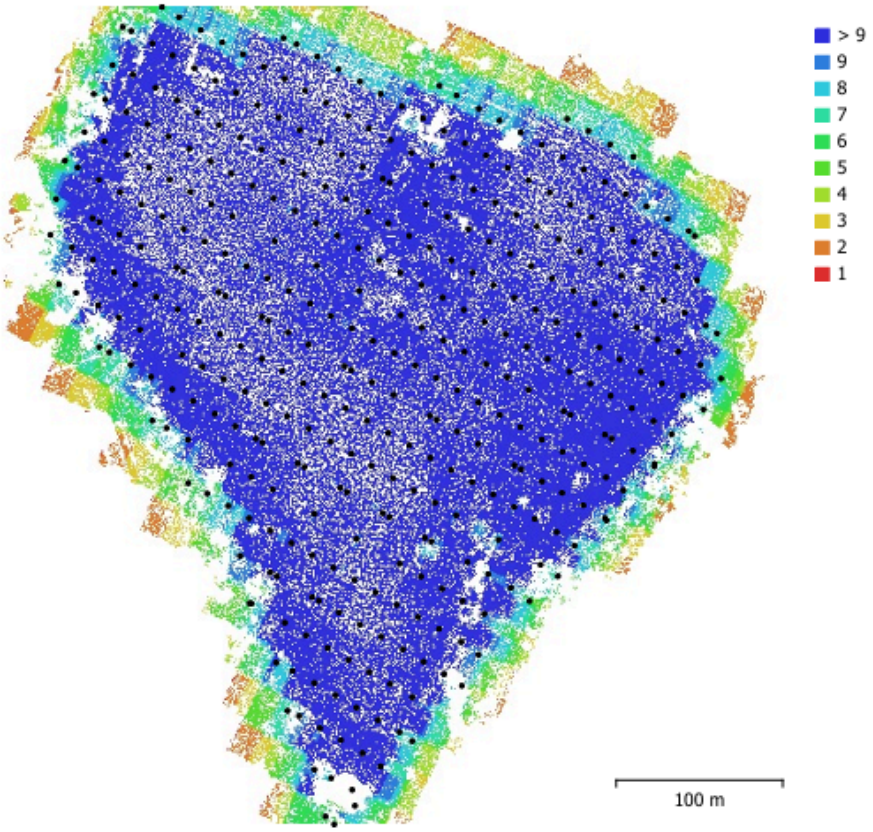

Fig. 1. Camera locations and image overlap.

Number of images:	375	Camera stations:	375
Flying altitude:	62.2 m	Tie points:	284,169
Ground resolution:	1.66 cm/pix	Projections:	1,365,126
Coverage area:	0.103 km²	Reprojection error:	1.23 pix

Camera Model	Resolution	Focal Length	Pixel Size	Precalibrated
FC6310 (8.8mm)	4864 x 3648	8.8 mm	2.61 x 2.61 µm	No

Table 1. Cameras.

Camera Calibration

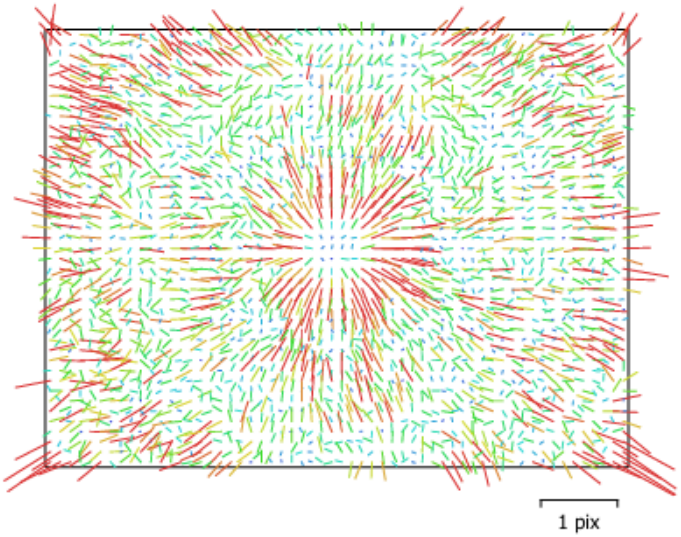

Fig. 2. Image residuals for FC6310 (8.8mm).

FC6310 (8.8mm)

375 images

Type	Resolution	Focal Length	Pixel Size
Frame	**4864 x 3648**	**8.8 mm**	**2.61 x 2.61 µm**

	Value	Error	F	Cx	Cy	K1	K2	K3	P1	P2
F	**3750.48**	8.5	1.00	0.60	0.86	0.15	-0.85	0.93	-0.50	-0.90
Cx	**-13.6272**	0.15		1.00	0.53	0.10	-0.51	0.56	-0.23	-0.54
Cy	**4.77857**	0.19			1.00	0.13	-0.73	0.80	-0.43	-0.76
K1	**0.00323705**	0.00013				1.00	-0.31	0.27	0.19	0.09
K2	**-0.0235037**	0.00025					1.00	-0.98	0.41	0.76
K3	**0.0263404**	0.00039						1.00	-0.45	-0.83
P1	**-0.000550154**	2.5e-06							1.00	0.51
P2	**-0.00175111**	4.5e-06								1.00

Table 2. Calibration coefficients and correlation matrix.

Camera Locations

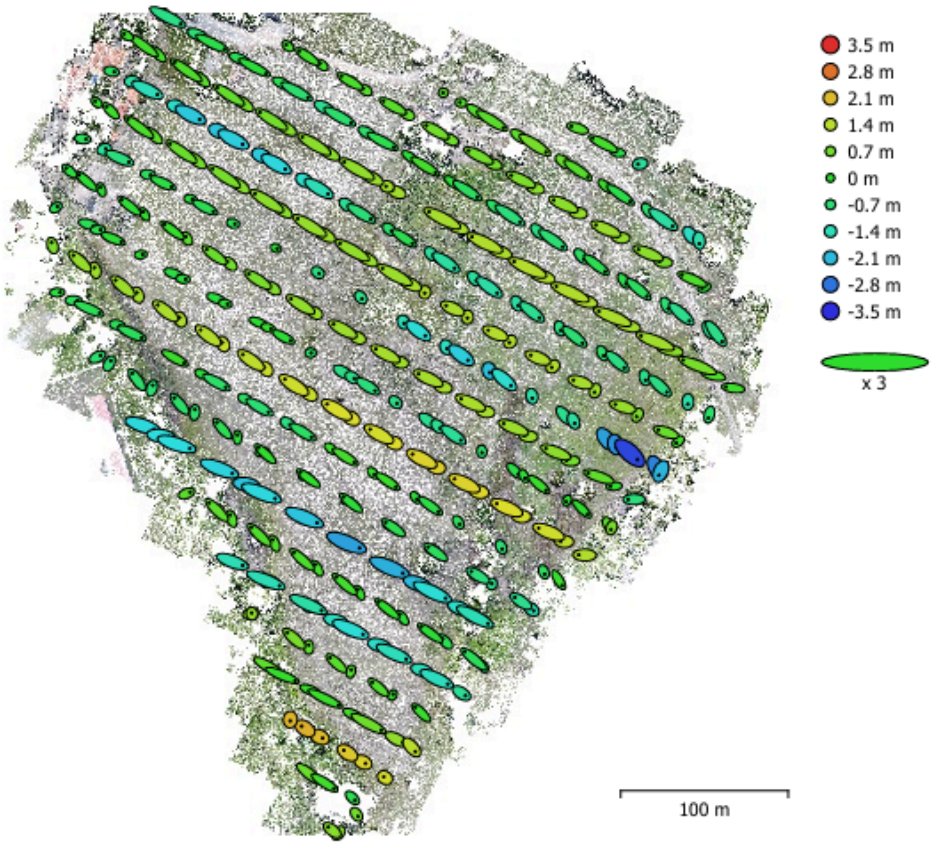

Fig. 3. Camera locations and error estimates.
Z error is represented by ellipse color. X,Y errors are represented by ellipse shape.
Estimated camera locations are marked with a black dot.

X error (m)	Y error (m)	Z error (m)	XY error (m)	Total error (m)
2.71016	1.61791	1.01993	3.15636	3.31706

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

Digital Elevation Model

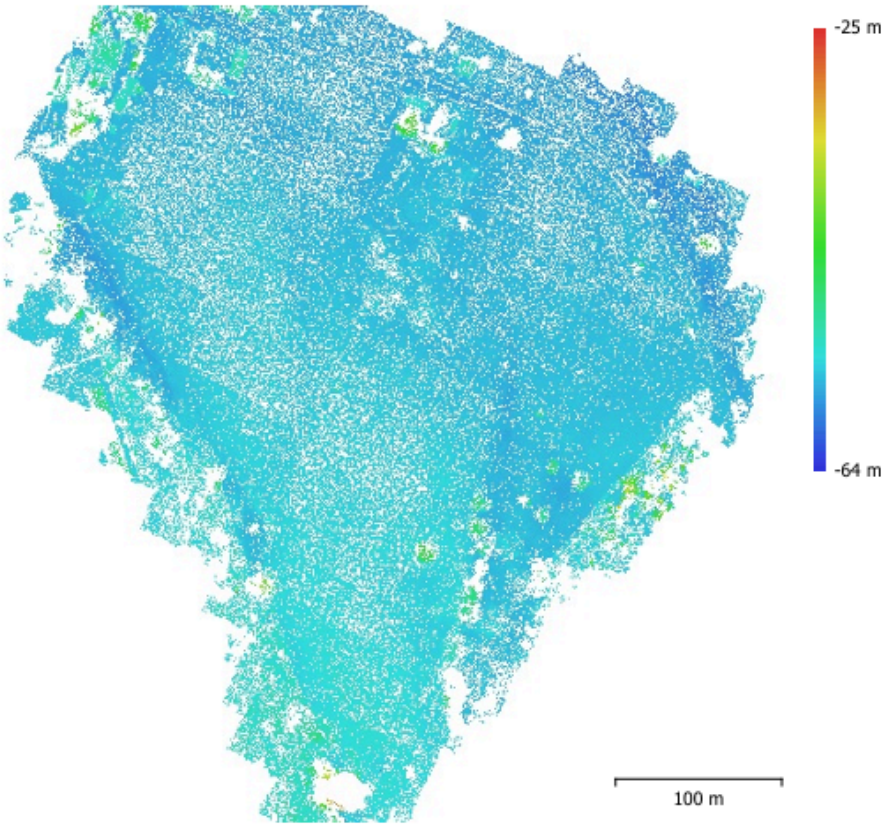

Fig. 4. Reconstructed digital elevation model.

Resolution:	unknown
Point density:	unknown

Processing Parameters

General	
Cameras	375
Aligned cameras	375
Coordinate system	SIRGAS 2000 / UTM zone 24S (EPSG::31984)
Rotation angles	Yaw, Pitch, Roll
Point Cloud	
Points	284,169 of 312,555
RMS reprojection error	0.140344 (1.23394 pix)
Max reprojection error	0.42246 (60.6875 pix)
Mean key point size	7.61099 pix
Point colors	3 bands, uint8
Key points	No
Average tie point multiplicity	4.9469
Alignment parameters	
Accuracy	Medium
Generic preselection	Yes
Reference preselection	Source
Key point limit	40,000
Key point limit per Mpx	1,000
Tie point limit	4,000
Exclude stationary tie points	Yes
Guided image matching	No
Adaptive camera model fitting	No
Matching time	2 minutes 17 seconds
Matching memory usage	274.52 MB
Alignment time	1 minutes 42 seconds
Alignment memory usage	112.87 MB
Date created	2024:10:09 14:18:51
Software version	1.8.5.15407
File size	42.79 MB
System	
Software name	Agisoft Metashape Professional
Software version	1.8.5 build 15407
OS	Windows 64 bit
RAM	7.36 GB
CPU	AMD Ryzen 7 5800H with Radeon Graphics
GPU(s)	NVIDIA GeForce GTX 1650

ANEXO 6. Relatório do voo com 80 metros de altitude e sobreposição de 80x80% com pontos de controle.

Survey Data

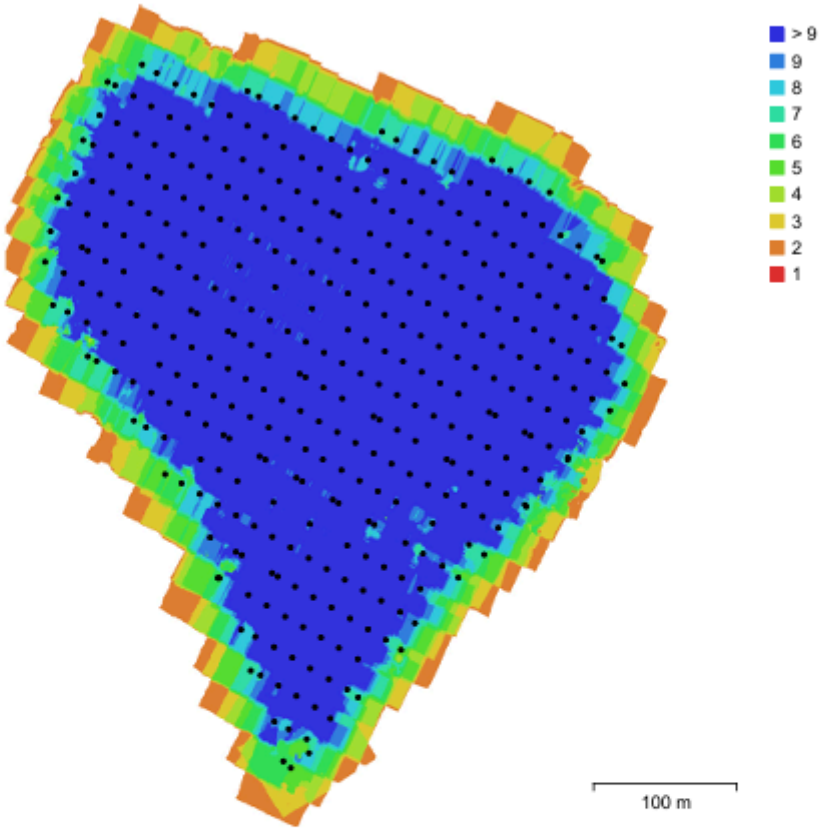

Fig. 1. Camera locations and image overlap.

Number of images:	375	Camera stations:	375
Flying altitude:	36.6 m	Tie points:	283,087
Ground resolution:	1.6 cm/pix	Projections:	1,340,717
Coverage area:	0.159 km²	Reprojection error:	1.37 pix

Camera Model	Resolution	Focal Length	Pixel Size	Precalibrated
FC6310 (8.8mm)	4864 x 3648	8.8 mm	2.61 x 2.61 µm	No

Table 1. Cameras.

Camera Calibration

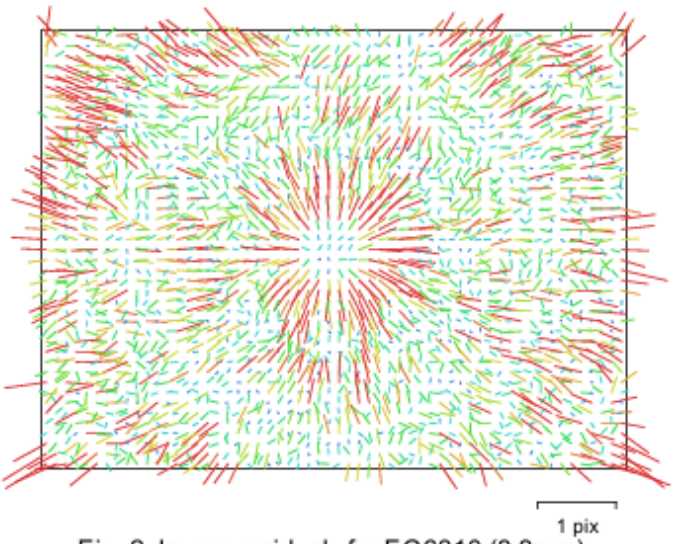

Fig. 2. Image residuals for FC6310 (8.8mm).

FC6310 (8.8mm)

375 images, rolling shutter

Type	Resolution	Focal Length	Pixel Size
Frame	**4864 x 3648**	**8.8 mm**	**2.61 x 2.61 µm**

	Value	Error	F	Cx	Cy	K1	K2	K3	P1	P2
F	**2054.11**	4.6	1.00	0.17	0.34	0.37	-0.78	0.88	-0.39	-0.86
Cx	**-27.4164**	0.15		1.00	0.08	0.06	-0.13	0.15	-0.07	-0.14
Cy	**-19.7354**	0.13			1.00	0.13	-0.26	0.30	-0.14	-0.31
K1	**0.00154996**	1.6e-05				1.00	-0.85	0.73	-0.15	-0.33
K2	**-0.00217512**	2.5e-05					1.00	-0.98	0.31	0.67
K3	**0.000724238**	1.1e-05						1.00	-0.35	-0.77
P1	**-0.000291572**	1.7e-06							1.00	0.32
P2	**-0.000953774**	2.5e-06								1.00

Table 2. Calibration coefficients and correlation matrix.

Camera Locations

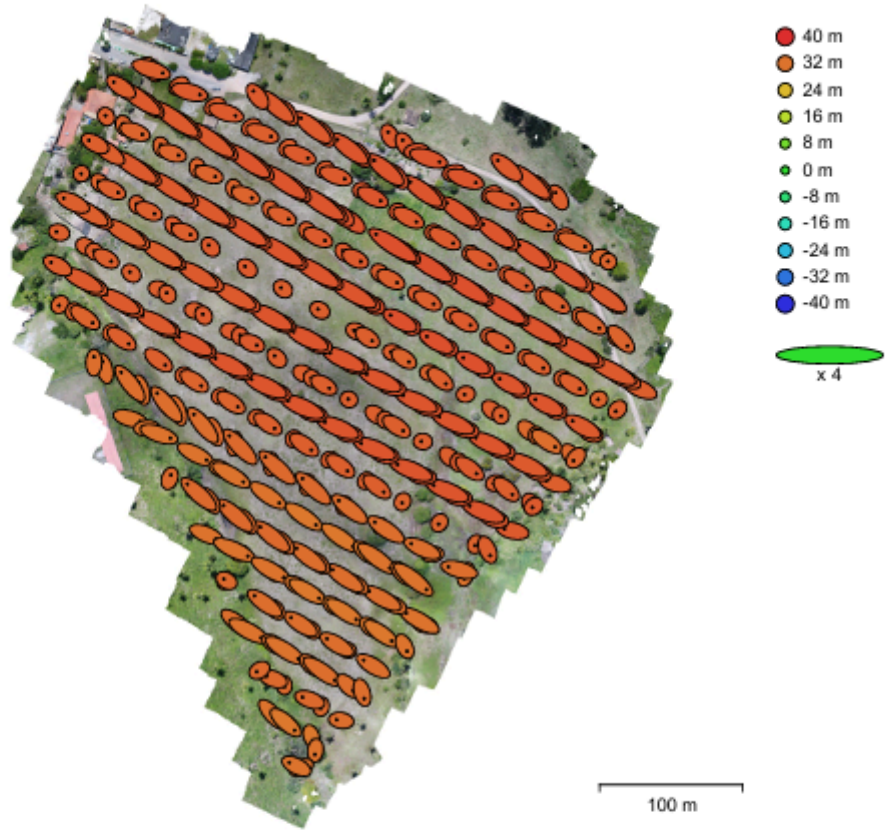

Fig. 3. Camera locations and error estimates.
Z error is represented by ellipse color. X,Y errors are represented by ellipse shape.
Estimated camera locations are marked with a black dot.

X error (m)	Y error (m)	Z error (m)	XY error (m)	Total error (m)
2.83606	1.81708	34.3429	3.36823	34.5076

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

Ground Control Points

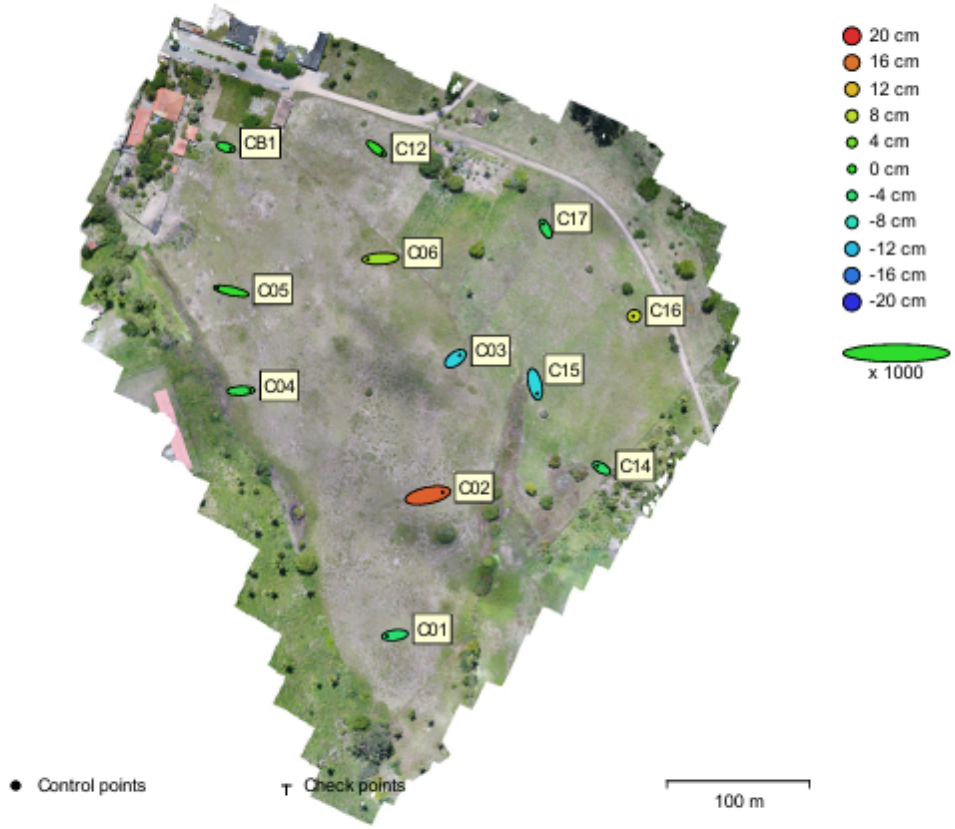

Fig. 4. GCP locations and error estimates.
Z error is represented by ellipse color. X,Y errors are represented by ellipse shape.
Estimated GCP locations are marked with a dot or crossing.

Count	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	XY error (cm)	Total (cm)
12	1.14934	0.524289	7.44787	1.26327	7.55424

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)
C12	0.810407	-0.63879	0.481666	1.13878	0.453 (12)
C14	-0.582484	0.34104	-3.22237	3.2923	0.766 (13)
C15	0.307438	-1.29709	-10.1573	10.2444	1.931 (13)
C16	-0.0960676	-0.0154382	8.89794	8.89847	1.709 (12)
C17	-0.344798	0.676827	-2.77976	2.88167	0.612 (15)
C01	-1.10677	-0.142662	-4.04613	4.1972	1.030 (16)
C02	2.0611	0.431478	17.2563	17.3843	3.374 (12)
C03	0.629207	0.463923	-10.4142	10.4435	2.152 (12)
C04	1.29657	0.06311	-1.53345	2.00911	0.634 (16)
C05	-1.86331	0.402911	0.282431	1.92718	0.736 (11)
C06	-1.77672	-0.106756	6.18837	6.43926	1.462 (10)
CB1	0.673995	-0.184227	-1.27523	1.45411	0.831 (12)
Total	**1.14934**	**0.524289**	**7.44787**	**7.55424**	**1.509**

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

Digital Elevation Model

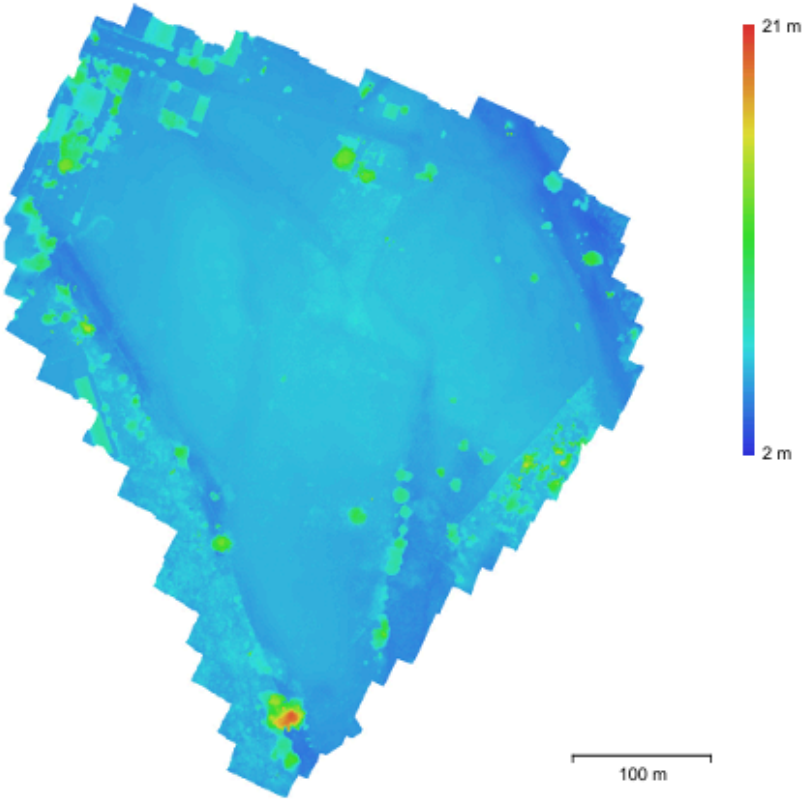

Fig. 5. Reconstructed digital elevation model.

Resolution:	12.8 cm/pix
Point density:	61.1 points/m²

Processing Parameters

General	
Cameras	375
Aligned cameras	375
Markers	12
Coordinate system	SIRGAS 2000 / UTM zone 24S (EPSG::31984)
Rotation angles	Yaw, Pitch, Roll
Point Cloud	
Points	283,087 of 312,555
RMS reprojection error	0.157375 (1.36813 pix)
Max reprojection error	0.480491 (61.2292 pix)
Mean key point size	7.6997 pix
Point colors	3 bands, uint8
Key points	No
Average tie point multiplicity	4.9469
Alignment parameters	
Accuracy	Medium
Generic preselection	Yes
Reference preselection	Source
Key point limit	40,000
Key point limit per Mpx	1,000
Tie point limit	4,000
Exclude stationary tie points	Yes
Guided image matching	No
Adaptive camera model fitting	No
Matching time	2 minutes 17 seconds
Matching memory usage	305.84 MB
Alignment time	2 minutes 36 seconds
Alignment memory usage	136.84 MB
Date created	2024:10:09 17:35:38
Software version	1.8.5.15407
File size	31.02 MB
Depth Maps	
Count	375
Depth maps generation parameters	
Quality	Low
Filtering mode	Mild
Max neighbors	16
Processing time	18 minutes 51 seconds
Memory usage	685.57 MB
Date created	2024:10:10 13:13:04
Software version	1.8.5.15407
File size	177.41 MB
Dense Point Cloud	
Points	10,111,232
Point colors	3 bands, uint8
Depth maps generation parameters	
Quality	Low
Filtering mode	Mild
Max neighbors	16
Processing time	18 minutes 51 seconds
Memory usage	685.57 MB

Dense cloud generation parameters	
Processing time	4 minutes 10 seconds
Memory usage	1.23 GB
Date created	2024:10:10 13:17:15
Software version	1.8.5.15407
File size	145.63 MB
DEM	
Size	3,601 x 4,488
Coordinate system	SIRGAS 2000 / UTM zone 24S (EPSG::31984)
Reconstruction parameters	
Source data	Dense cloud
Interpolation	Enabled
Processing time	19 seconds
Memory usage	171.60 MB
Date created	2024:10:10 13:18:18
Software version	1.8.5.15407
File size	45.26 MB
Orthomosaic	
Size	28,808 x 35,904
Coordinate system	SIRGAS 2000 / UTM zone 24S (EPSG::31984)
Colors	3 bands, uint8
Reconstruction parameters	
Blending mode	Mosaic
Surface	DEM
Enable hole filling	Yes
Enable ghosting filter	No
Processing time	48 minutes 28 seconds
Memory usage	1.39 GB
Date created	2024:10:10 14:02:30
Software version	1.8.5.15407
File size	8.87 GB
System	
Software name	Agisoft Metashape Professional
Software version	1.8.5 build 15407
OS	Windows 64 bit
RAM	7.43 GB
CPU	Intel(R) Core(TM) i5-7600 CPU @ 3.50GHz
GPU(s)	Intel(R) HD Graphics 630