



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA E CIÊNCIAS AMBIENTAIS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

Vanderbio Duarte Rodrigues Segundo

**Avaliação da precisão em mapeamentos planialtimétricos
com drones:** comparação de modelos e impacto da correção RTK.

MOSSORÓ

2025

VANDERBIO DUARTE RODRIGUES SEGUNDO

Avaliação da precisão em mapeamentos planialtimétricos

Com drones: comparação de modelos e impacto da correção RTK.

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Paulo Cesar Moura Moura da Silva,
Prof. Dr.

Co-orientadora: Daniela da Costa Leite Coelho,
Prof^a. Dr^a.

MOSSORÓ

2025

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

R696a Rodrigues Segundo, Vanderbio Duarte.
Avaliação da precisão em mapeamentos
planialtimétricos com drones: comparação de
modelos e impacto da correção RTK / Vanderbio
Duarte Rodrigues Segundo. - 2025.
116 f. : il.

Orientador: Paulo Cesar Moura da Silva.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia Civil,
2025.

1. VANT?s. 2. geotecnologias. 3. levantamento
topográfico. 4. GPS. 5. topografia. I. Silva,
Paulo Cesar Moura da, orient. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Biblioteca Campus Mossoró / Setor de Informação e Referência
Bibliotecária: Keina Cristina Santos Sousa e Silva
CRB: 15/120

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

VANDERBIO DUARTE RODRIGUES SEGUNDO

Avaliação da precisão em mapeamentos planialtimétricos
Com drones: comparação de modelos e impacto da correção RTK.

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Defendida em: 27/03/2025.

BANCA EXAMINADORA

Paulo Cesar Moura da Silva, Prof. Dr. (UFERSA)
Presidente

Daniela da Costa Leite Coelho, Profa. Dra. (UFERSA)
Membro Examinador

Vitor Pessoa Caminha, Bacharel em Engenharia Civil (UFERSA)
Membro Examinador

RESUMO

O presente trabalho investigou a precisão de levantamentos topográficos realizados com três modelos de drones da fabricante DJI, sendo estes: Mini 2, Mini 3 e Mavic Air 2, no setor de transportes da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), em Mossoró-RN. O objetivo principal foi comparar a precisão dos Modelos Digitais de Elevação (MDE's) e ortofotos geradas pelos drones com os dados obtidos por um receptor GNSS RTK Emlid RS+, considerado como referência de alta precisão. A metodologia consistiu na coleta de dados com os drones, utilizando os softwares de mapeamento Map Pilot Pro e Litchi, e no processamento das imagens no software Agisoft Metashape. A análise comparativa envolveu a avaliação da precisão dos MDE's e ortofotos geradas pelos drones, tanto com quanto sem a aplicação de correção RTK, em relação aos dados de referência do RTK. Os resultados obtidos permitiram avaliar o desempenho e a precisão de cada modelo de drone em diferentes condições, fornecendo informações valiosas para a seleção do equipamento mais adequado em aplicações de mapeamento aéreo. Além disso, o estudo destacou a importância da correção RTK para a obtenção de resultados com maior precisão, contribuindo para o avanço do conhecimento sobre a utilização de drones na topografia e suas aplicações práticas. Com base nos dados apresentados, o DJI Mini 3 se destacou como o melhor drone em termos de precisão, tanto com quanto sem correção RTK, apresentando os menores erros totais. Além disso, o DJI Mini 3 demonstrou a maior eficiência energética e autonomia de voo, tornando-o a escolha ideal para aplicações que exigem alta precisão e longos tempos de voo.

Palavras-chave: VANT's; geotecnologias; levantamento topográfico; GPS; topografia.

ABSTRACT

This study investigated the accuracy of topographic surveys conducted with three drone models from the manufacturer DJI, namely: Mini 2, Mini 3, and Mavic Air 2, in the transportation sector of the Federal Rural University of Semi-Arid (UFERSA), in Mossoró-RN. The main objective was to compare the accuracy of Digital Elevation Models (DEMs) and orthophotos generated by the drones with data obtained from an Emlid RS+ GNSS RTK receiver, considered as a high-precision reference. The methodology consisted of collecting data with the drones, using the mapping software Map Pilot Pro and Litchi, and processing the images in Agisoft Metashape software. The comparative analysis involved evaluating the accuracy of the DEMs and orthophotos generated by the drones, both with and without the application of RTK correction, in relation to the RTK reference data. The results obtained allowed for the evaluation of the performance and accuracy of each drone model under different conditions, providing valuable information for the selection of the most suitable equipment in aerial mapping applications. Furthermore, the study highlighted the importance of RTK correction for obtaining results with greater accuracy, contributing to the advancement of knowledge on the use of drones in topography and their practical applications. Based on the presented data, the DJI Mini 3 stood out as the best drone in terms of accuracy, both with and without RTK correction, presenting the lowest total errors. Additionally, the DJI Mini 3 demonstrated the highest energy efficiency and flight autonomy, making it the ideal choice for applications that require high accuracy and long flight times.

Keywords: UAVs; geotechnologies; topographic survey; GPS; topography.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Mosaico do balão de Veneza	20
Figura 2 – Diferença entre MDT e MDS.....	21
Figura 3 – Sistema de funcionamento do GNSS RTK.....	24
Figura 4 – Mapa de situação da área de estudo	25
Figura 5 – Delimitação da área de estudo no Google Earth Pro	27
Figura 6 – Estabilização da base do GPS/RTK	28
Figura 7 – Posicionamento dos alvos ao longo da área de estudo.....	28
Figura 8 – Emlid Flow (a) e Mapa de localização dos pontos (b).....	29
Figura 9 – Interface do aplicativo Map Pilot Pro	30
Figura 10 – Coordenadas no formato .txt.....	30
Figura 11 – Interface do Agisoft Metashape	31
Figura 12 – Alinhamento das fotos.....	32
Figura 13 – Conversão de coordenadas	32
Figura 14 – Construção da “Dense Cloud”	33
Figura 15 – Importação dos pontos de controle	33
Figura 16 – Importação dos pontos de controle	34
Figura 17 – Filtragem dos pontos	34
Figura 18 – Apontamento dos pontos nos alvos.....	35
Figura 19 – Apontamento dos pontos nos alvos.....	35
Figura 20 – Otimização da câmeras	36
Figura 21 – Construção do modelo 3D.....	36
Figura 22 – Construção da textura.....	37
Figura 23 – Construção do Build Tiled Model	37
Figura 24 – Construção do MDS	38
Figura 25 – Construção do Ortomosaico	38
Figura 26 – Ortomosaico	39
Figura 27 – Duplicando o projeto.....	39
Figura 28 – Classificação da nuvem densa.....	40
Figura 29 – Classificação da nuvem densa.....	40
Figura 30 – Construção do modelo 3D	41
Figura 31 – Modelo 3D do terreno	45
Figura 32 – Suavização do modelo 3D.....	42

Figura 33 – Suavização do modelo 3D.....	45
Figura 34 – Contrução do MDE	45
Figura 35 – Resultado do MDE.....	45
Figura 36 – Gerando as curvas de nível	45
Figura 37 – Gerando as curvas de nível	45
Figura 38 – Modelo digital de elevação gerado pelo drone modelo Mini 2.....	45
Figura 39 – Modelo digital de elevação gerado pelo drone modelo Mini 3.....	51
Figura 40 – Modelo digital de elevação gerado pelo drone modelo Air 2	55
Figura 41 – Ortofoto da área de estudo gerada pelo levantamento realizado pelo drone modelo Mini 2	59
Figura 42 – Ortofoto da área de estudo gerada pelo levantamento realizado pelo drone modelo Mini 3	60
Figura 43 – Ortofoto da área de estudo gerada pelo levantamento realizado pelo drone modelo Air 2.....	61

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Cotas (RTK, Mini 2, Mini 2*).....	49
Gráfico 2 – Cotas (RTK, Mini 3, Mini 3*).....	54
Gráfico 3 – Coras (RTK, Air 2, Air 2*)	57

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Peso máximo de decolagem.	22
Quadro 2 – Equipamentos utilizados.....	26

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tempos (Mini 3).....	45
Tabela 2 – Tempos (Air 2).	45
Tabela 3 – Tempos (Mini 2).....	46
Tabela 4 – Cotas obtidas pelo drone modelo Mini 2.....	48
Tabela 5 – Média e desvio padrão dos pontos coletados pelo drone modelo Mini 2.....	48
Tabela 6 – Cotas obtidas pelo drone modelo Mini 3.....	52
Tabela 7 – Média e desvio padrão dos pontos coletados pelo drone modelo Mini 3.....	52
Tabela 8 – Cotas obtidas pelo drone modelo Air 2.	56
Tabela 9 – Média e desvio padrão dos pontos coletados pelo drone modelo Air 2	56
Tabela 10 – Dados brutos dos modelos.....	58
Tabela 11 – Dados brutos dos modelos*.....	58
Tabela 12 – Erros DJI Mini 2 (sem correção).	59
Tabela 13 – Erros DJI Mini 2 (com correção).....	59
Tabela 14 – Erros DJI Mini 3 (sem correção).	60
Tabela 15 – Erros DJI Mini 3 (com correção).....	60
Tabela 16 – Erros DJI Mavic Air 2 (sem correção).	61
Tabela 17 – Erros DJI Mavic Air 2 (com correção)*.....	62
Tabela 18 – Tabela de erros.....	62

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Cm – Centímetros

DJI – Da-Jiang Innovations (empresa fabricante dos drones)

GNSS – Sistema Global de Navegação por Satélite

GPS – Sistema de Posicionamento Global

Ha – Hectare

MDE – Modelo Digital de Elevação

MDT – Modelo Digital de Terreno

RTK – Real-Time Kinematic

UFERSA – Universidade Federal Rural do Semi-Árido

VANT – Veículo Aéreo Não Tripulado

KML – Keyhole Markup Language

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 OBJETIVO	16
2.1 Objetivos específicos	16
3 REFERENCIAL TEÓRICO	17
3.1 Cartografia	17
3.1.1 Sistema de projeção UTM (Universal Transversa de Mercator)	18
3.2 Topografia	18
3.3 Geoprocessamento	19
3.3.1 Sensoriamento Remoto	19
3.3.2 Aerofotogrametria	20
3.3.3 Modelos digitais (MDT e MDE)	21
3.4 Drone (Veículo Aéreo Não Tripulado - VANT)	22
3.5 Sistema Global de Navegação por Satélite (GNSS)	23
3.6 Real Time Kinematic (RTK)	23
4 MATERIAL E MÉTODOS	25
4.1 Área de estudo	25
4.2 Equipamentos utilizados	26
4.3 Planejamento para a obtenção dos dados	27
4.4 Coleta de dados	27
4.4.1 Estabilização da base do GPS/RTK	27
4.4.2 Posicionamento dos alvos no terreno	27
4.4.3 Coleta dos pontos com o Rover	27
4.4.4 Execução do plano de voo	27
4.5 Processamento dos dados	30
4.6 Método de comparação	45
4.6.1 Modelo digital de elevação	45
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	45
5.1 Estudo de tempos	45
5.2 Modelo digital de elevação	45
5.2.1 DJI Mini 2	46
5.2.2 DJI Mini 3	50
5.2.3 DJI Mavic Air 2	54

5.3 Ortofoto.....	58
5.3.1 DJI Mini 2	58
5.2.2 DJI Mini 3	60
5.2.3 DJI Mavic Air 2.....	61
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	63
REFERÊNCIAS	64
APÊNDICE	67

1 INTRODUÇÃO

A topografia tradicional, isto é, aplicando equipamentos analógicos como nível e teodolito, vem sendo modificada pela presença de novas tecnologias e, outros meios de executar um levantamento topográfico vêm ganhando espaço, reduzindo o tempo nos trabalhos de campo, e cada vez mais, aproximando a precisão entre os diferentes equipamentos existentes.

No Brasil, a topografia tradicional, embora essencial para o desenvolvimento de infraestrutura e o planejamento territorial, enfrenta desafios significativos relacionados ao tempo, custo e precisão. A extensa área territorial do país, aliada à diversidade de biomas e relevo, torna a coleta de dados por métodos convencionais, como estações totais e níveis, um processo demorado e dispendioso. A necessidade de deslocamento de equipes para áreas remotas, como a Amazônia ou o Pantanal, aumenta os custos e a complexidade dos levantamentos (IBGE, 2018).

A crescente acessibilidade e aprimoramento tecnológico dos Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT's), popularmente conhecidos como drones, têm impulsionado sua aplicação em diversas áreas, com destaque para a topografia e o mapeamento (Colomina & Molina, 2014).

A capacidade de coletar dados geoespaciais de alta resolução de forma rápida e eficiente, aliada à redução de custos operacionais em comparação com métodos tradicionais, torna os drones ferramentas indispensáveis para levantamentos planialtimétricos.

Essas aeronaves remotamente pilotadas (RPA) empregadas na aerofotogrametria possuem câmeras integradas que possibilitam a coleta de fotografias aéreas de alta qualidade. Essas imagens, combinadas com outros parâmetros, como sensores ópticos e laser, viabilizam a geração de dados topográficos mais detalhados e eficientes em comparação aos métodos tradicionais, como Estação Total e GNSS RTK (Fortunato, 2018).

A utilização de RPA's torna as medições muito mais rápidas e precisas, pois as imagens capturadas são georreferenciadas, possibilitando a criação de um modelo digital do terreno (MDT). Dessa forma, a entrega de análises do solo, de alta precisão e qualidade se dá de forma muito mais rápida e detalhada, aumentando significativamente a produtividade.

Segundo Tavares (2021), o aumento no uso de drones em mapeamentos se dá devido à sua capacidade de otimizar esse processo. Essas aeronaves realizam voos automatizados, proporcionando maior autonomia, além de aumentarem a eficiência dos levantamentos, pois operam de forma ágil e abrangem extensas áreas de estudo.

Neste contexto, a correção em tempo real (RTK) surge como um diferencial crucial para aprimorar a precisão dos dados coletados (Turner, Lucieer, & Watson, 2012). Ao eliminar ou

minimizar erros de posicionamento das imagens capturadas, o RTK possibilita a geração de modelos digitais de ainda mais precisão e fidelidade.

Isto posto, objetivou-se com o presente estudo realizar uma análise comparativa entre diferentes modelos populares de drones de uso civil para executar levantamentos topográficos planialtimétricos de uma área, aliados a correção RTK, buscando identificar suas vantagens, limitações e precisão dos dados obtidos. Espera-se que os resultados deste estudo contribuam para a compreensão das potencialidades e limitações dos drones nesses levantamentos, bem como para a otimização dos processos de coleta e processamento de dados geoespaciais.

2 OBJETIVO

Avaliar a precisão e a eficiência de três modelos distintos de drones no mapeamento geoespacial, utilizando pontos de controle obtidos por um GPS RTK para a correção das imagens capturadas, a fim de verificar a acurácia dos dados gerados e identificar as melhores práticas para a realização de levantamentos geoespaciais de alta qualidade.

2.1 Objetivos específicos

- Processar as imagens coletadas com os modelos para obtenção de ortofotos.
- Processar e corrigir as imagens capturadas pelos drones com base nos pontos de controle obtidos.
- Analisar e comparar a acurácia dos produtos gerados por cada modelo de drone após a correção com os pontos de controle.
- Analisar a eficiência de diferentes aplicativos usados para a produção de planos de voo autônomos aplicados ao mapeamento.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Cartografia

A cartografia, como destacam Fitz et al. (2018), é um campo de conhecimento multidisciplinar que engloba a arte, a ciência e a tecnologia de representar o espaço geográfico. Ela se dedica à criação, produção e interpretação de mapas e outros produtos cartográficos, que servem como ferramentas essenciais para a compreensão e análise do território.

Fitz et al. (2018) também mostram que a cartografia não se limita apenas à representação visual do mundo, mas também envolve a coleta, organização e análise de dados espaciais, utilizando tecnologias como sensoriamento remoto, sistemas de informação geográfica (SIG) e geoprocessamento. Além disso, a cartografia desempenha um papel fundamental na comunicação de informações geográficas, auxiliando na tomada de decisões em diversas áreas, como planejamento urbano, gestão ambiental, transporte e defesa.

Segundo Robinson et al. (1995), a cartografia não se limita apenas à representação visual do mundo. Ela também desempenha um papel fundamental na comunicação de informações geográficas, auxiliando na tomada de decisões em diversas áreas, como planejamento urbano, gestão ambiental, transporte e defesa.

Oliveira (1988) explica que, para superar o desafio de representar a Terra em um mapa plano, foram desenvolvidos sistemas de projeção. Esses sistemas utilizam métodos gráficos ou analíticos para estabelecer uma correspondência entre os pontos da superfície curva da Terra e suas posições no mapa plano.

Os sistemas de projeção cartográfica são métodos matemáticos que possibilitam a representação da superfície tridimensional da Terra em um plano bidimensional, essencial para a criação de mapas. Como discutido por Bugayevskiy e Snyder (1995), esses sistemas estabelecem uma relação sistemática entre as coordenadas geográficas (latitude e longitude) e as coordenadas planas (x e y) no mapa.

Bugayevskiy e Snyder (1995) ressaltam que nenhuma projeção consegue preservar todas as propriedades geométricas da Terra simultaneamente, como áreas, formas, distâncias e ângulos. Dessa forma, a escolha da projeção ideal depende do propósito do mapa e das propriedades que se deseja priorizar.

3.1.1 Sistema de Projeção UTM (Universal Transversa de Mercator)

A Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), conforme descrito por Rocha (2000), é um sistema de projeção cartográfica amplamente utilizado devido à sua capacidade de manter a forma dos objetos, o que é crucial para diversas aplicações, como navegação e mapeamento. Essa projeção cilíndrica secante divide a Terra em fusos, cada um projetando uma faixa longitudinal da superfície terrestre.

A Projeção UTM consiste em um sistema de coordenadas amplamente utilizado devido à sua capacidade de minimizar a distorção em grandes áreas. Como detalhado por Canters et al. (2019), na projeção UTM, os meridianos e paralelos se interceptam em ângulos retos, garantindo a conformidade, ou seja, a preservação das formas dos objetos representados no mapa. A linha do Equador e o meridiano central de cada fuso são representados por linhas retas, enquanto os demais meridianos e paralelos são representados por curvas. O espaçamento entre os meridianos aumenta à medida que se afastam do meridiano central, o que é compensado por uma distorção na escala Norte-Sul para manter a conformidade. Essa característica resulta em uma escala diferente para cada ponto do mapa, o que deve ser considerado em aplicações que exigem alta precisão métrica.

Como detalhado por Zhang e Li (2021), a projeção UTM é um tipo de projeção cilíndrica transversa que divide a Terra em 60 fusos de 6° de longitude, cada um projetado separadamente para minimizar a distorção. Dentro de cada fuso, as coordenadas são expressas em metros, facilitando a realização de cálculos de distância e área. A projeção UTM é conforme, ou seja, preserva os ângulos e, conseqüentemente, as formas dos objetos, tornando-a ideal para aplicações que exigem precisão geométrica. No entanto, é importante ressaltar que a projeção UTM não preserva as áreas, o que deve ser considerado em aplicações que exigem precisão métrica.

3.2 Topografia

Como explicam Blitzkow et al. (2014), a topografia é fundamental para diversas áreas, pois fornece informações precisas sobre as dimensões e a localização de pontos na superfície terrestre e em seu interior. Através de técnicas e princípios específicos, a topografia permite mapear o terreno, planejar obras de engenharia e realizar estudos geológicos, entre outras aplicações.

A topografia é uma ciência fundamental para as engenharias, voltada à análise e representação da superfície terrestre por meio de medições e cálculos matemáticos. Essa área é

tradicionalmente subdividida em duas principais categorias: planimetria e altimetria. A planimetria refere-se ao estudo e aplicação de técnicas que possibilitam a representação bidimensional do terreno, desconsiderando variações altimétricas e focando exclusivamente na projeção horizontal. Em contraste, a altimetria compreende os métodos de medição e análise das variações de altura, permitindo a caracterização do relevo e das elevações do terreno com base em sua altitude e conformação geométrica (Río-Santana et al., 2019).

A Topografia é responsável pelo estudo da irregularidade geográfica, que se dá por meio de medições altimétricas e planimétricas, com o objetivo de representá-los graficamente em cartas ou plantas topográficas. Esse processo permite a determinação precisa de medidas como área, perímetro, localização, orientação e variações do relevo, além da delimitação de terrenos e propriedades. A obtenção dessas informações é viabilizada pelo uso de geotecnologias, incluindo Estação Total, Global Positioning System (GPS), Sistema Global de Navegação por Satélite (GNSS), e Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) (Veiga; Zanetti; Faggion, 2012; Almeida et al., 2016).

3.3 Geoprocessamento

Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG's) integram informações espaciais de diversas fontes em uma base de dados única, permitindo a combinação e análise desses dados por meio de algoritmos, para geração de mapeamentos derivados, além da consulta, recuperação, visualização e impressão do conteúdo geocodificado (Câmara, 1993).

O geoprocessamento, uma tecnologia aplicada aos Sistemas de Informação Geográfica (SIG), pode ser definido como o conjunto de técnicas e metodologias utilizadas na aquisição, armazenamento, processamento e representação de dados georreferenciados (Antunes, 2013).

O geoprocessamento se baseia na coleta, armazenamento, análise e visualização de dados georreferenciados, ou seja, dados que possuem coordenadas geográficas associadas. A origem do geoprocessamento remonta à década de 1960, com o desenvolvimento dos primeiros Sistemas de Informação Geográfica (SIG's) (Tomlin, 1990). No entanto, foi a partir da década de 1990, com a popularização dos computadores pessoais e o desenvolvimento de softwares mais acessíveis, que o geoprocessamento se expandiu e se tornou uma ferramenta amplamente utilizada.

3.3.1 Sensoriamento Remoto

O sensoriamento remoto é a ciência que se dedica à obtenção de informações sobre objetos e fenômenos na Terra à distância, ou seja, sem a necessidade de contato direto, e se dá

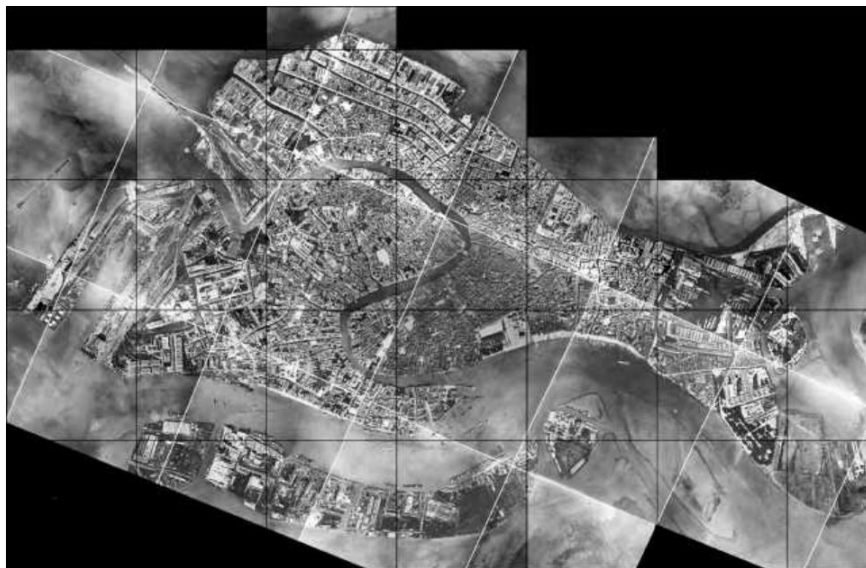
por meio da análise de dados coletados por sensores remotos (Barrett & Curtis, 1992). Logo, técnicas de aerofotogrametria com VANT's podem ser incluídas no sensoriamento remoto, já que as imagens são captadas remotamente.

3.3.2 Aerofotogrametria

A aerofotogrametria baseia-se na sobreposição de fotografias aéreas para criar um modelo estereoscópico, que permite a medição precisa de distâncias e elevações (Wolf & Dewitt, 2000). A técnica surgiu no início do século XX e foi amplamente utilizada durante as guerras mundiais para fins militares (Mikhail et al., 2001).

Essa técnica alcançou um marco significativo em 1911, com o mosaico fotográfico de Veneza (Figura 1) produzido pelo Capitão Cesare Tardivo, oficial italiano. Reconhecido por seus trabalhos civis e militares apresentados no 1º Congresso Internacional de Fotogrametria, Tardivo é creditado como o pioneiro na obtenção de imagens aéreas por avião (Guerra e Pilot, 2000).

Figura 1 – Mosaico do balão de Veneza.



Fonte: guerra e pilot (2000).

Com o desenvolvimento de câmeras digitais e softwares de processamento de imagens, a aerofotogrametria tornou-se mais precisa e eficiente (Kraus, 2007). A introdução de VANT's revolucionou a técnica, permitindo a coleta de dados de alta resolução em áreas menores e de difícil acesso (Eisenbeiss, 2009).

Maurice et al. (2015) argumentam que as RPA's oferecem imagens de resolução igual ou superior às de voos tripulados, eliminando a interferência de nuvens e reduzindo significativamente os custos de levantamento.

Segundo Meneses e Almeida (2012), aerofotografias fornecem dados quantitativos, com pixels contendo coordenadas (X, Y) e atributos como radiância, temperatura ou altitude, dependendo do sensor. Em câmeras RGB (vermelho, verde e azul), por exemplo, cada pixel inclui as coordenadas e a radiância das bandas vermelho, verde e azul (Rosalen et al., 2017).

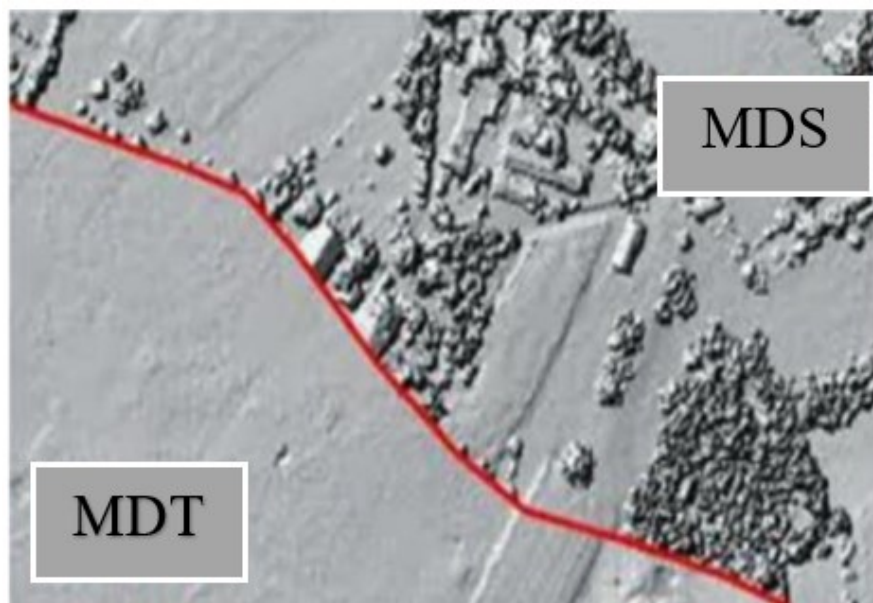
3.3.3 Modelos digitais (MDT e MDE)

É viável representar a superfície terrestre por meio de modelos matemáticos, os quais conseguem preservar características específicas e reproduzi-las em escalas que possibilitam a análise de seus elementos Nóbrega e Moura (2013).

Segundo Andrade (1998), a modelagem de um terreno consiste em recriar sua forma. Quando é feita digitalmente, ela é chamada de Modelo Digital de Terreno (MDT). Existem diversas maneiras de modelar a superfície de um terreno, e a forma de representação da superfície desejada é definida durante o processo de interpolação de altitudes.

Nobrega e Moura (2013) definem MDT (MNT em inglês) como um uma representação exclusivamente do terreno, desconsiderando tudo que está acima. Já o Modelo Digital de Elevação (MDE) ou (DSM) incluem elementos como árvores e edifícios, não ignorando as superfícies físicas presentes sobre o solo.

Figura 2 – Diferença entre MDT e MDS.



Fonte – Adaptada de Marcolino (2012).

Conforme Jensen (2009), o Modelo Digital de Terreno (MDT) é uma técnica utilizada para representar digitalmente a elevação do terreno, suas inclinações e características

hidrológicas e ambientais. As metodologias para a criação de um MDT incluem medições de campo com instrumentos como o GPS, fotogrametria, Radar de Abertura Sintética interferométrico (IFSAR) e a tecnologia de detecção de luz ativa LIDAR.

3.4 Drone (Veículo Aéreo Não Tripulado - VANT)

Segundo Lavor (2022), os VANT's comercialmente disponíveis se categorizam em duas configurações principais: asa fixa e asa rotativa. Os modelos de asa fixa, com aerodinâmica similar à de aeronaves convencionais, dependem do fluxo de ar sobre suas asas para sustentação. Em contraste, os VANT's de asa rotativa, análogos a helicópteros, destacam-se pelo tamanho compacto, facilidade de operação e custo reduzido. Frequentemente, estes últimos utilizam múltiplos rotores para controle e sustentação, sendo designados como drones multirrotores.

De acordo com Medeiros (2007), os drones quadricópteros apresentam vantagens significativas para aplicações recreativas e profissionais, notadamente a capacidade de decolagem e pouso vertical, operação eficaz em condições de ventos fortes (superior aos modelos de asa fixa), custo de aquisição moderado e facilidade de transporte.

A capacidade dos VANT's de transportar diversos sensores tem impulsionado sua aplicação no sensoriamento remoto de alta resolução (Turner et al., 2014). Câmeras hiperespectrais, sensores LIDAR e radares de abertura sintética (SAR) permitem a coleta de dados detalhados sobre a superfície terrestre, com aplicações em agricultura de precisão, monitoramento ambiental e geologia (Wallace et al., 2012).

A Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC, 2021) classifica os drones quanto ao seu peso máximo de decolagem, em classes, como mostra o Quadro 1. Os VANT's da classe 1, devido ao seu peso, são tratados de forma semelhante a aeronaves tripuladas. Já os drones com peso máximo de decolagem inferior a 250 g, não necessitam de qualquer registro.

Quadro 1 – Classificação dos drones com base no seu Peso Máximo de Decolagem (PMD).

Classes	Peso máximo de decolagem (kg)
1	Acima de 150 kg
2	Acima de 25 até 150kg
3	Abaixo ou igual a 25kg

Fonte: Adaptado de ANAC (2021).

3.5 Sistema Global de Navegação por Satélite (GNSS)

A metodologia GNSS (Global Navigation Satellite System) é amplamente utilizada para a determinação rápida de coordenadas espaciais, baseando-se em sistemas de navegação por satélite artificiais, como o GPS (Estados Unidos), o GLONASS (Rússia) e o BeiDou (China). O GNSS engloba todos esses sistemas, representando uma constelação de tecnologias de posicionamento global (SANTOS, 2012).

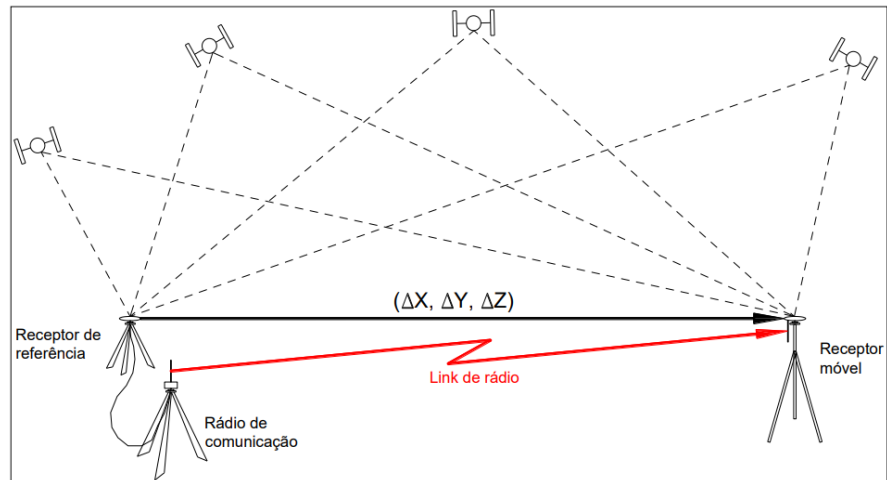
Em 1973, o Departamento de Defesa dos Estados Unidos iniciou o desenvolvimento do Sistema de Posicionamento Global (GPS), um sistema de navegação por satélite concebido para fornecer posicionamento instantâneo e tridimensional, bem como a velocidade, de pontos na superfície terrestre ou em sua proximidade. Este sistema revolucionou a geolocalização, permitindo aplicações civis e militares em diversos campos (Letham, 1996).

Segundo Freitas (2012), o GPS foi desenvolvido com o objetivo de garantir a disponibilidade de sinais de, no mínimo, quatro satélites acima do horizonte de qualquer observador na superfície terrestre, em qualquer momento. Seu funcionamento baseia-se na interação de três segmentos distintos: o segmento espacial, composto por uma constelação de satélites; o segmento de controle, constituído por estações terrestres responsáveis pela operação e monitoramento do sistema; e o segmento de usuário, que abrange a comunidade usuária, incluindo receptores, algoritmos e softwares.

3.6 Real Time Kinematic (RTK)

Os receptores RTK aprimoram a precisão do posicionamento GNSS através da correção em tempo real das coordenadas coletadas. Este método emprega dois receptores: uma estação base estacionária, que recebe sinais da constelação de satélites, e um receptor móvel, denominado de “Rover”, que recebe correção em tempo real da base, utilizado para coletar as coordenadas dos pontos individuais (DINIZ, 2016) (Figura 3). A estação base, pode ter suas coordenadas pós-processadas pelo Posicionamento por Ponto Preciso do IBGE (IBGE-PPP), aumentando ainda mais a precisão da correção dos pontos do Rover.

Figura 3 – Sistema de funcionamento do GNSS RTK.



Fonte: INCRA (2013).

4 MATERIAL E MÉTODOS

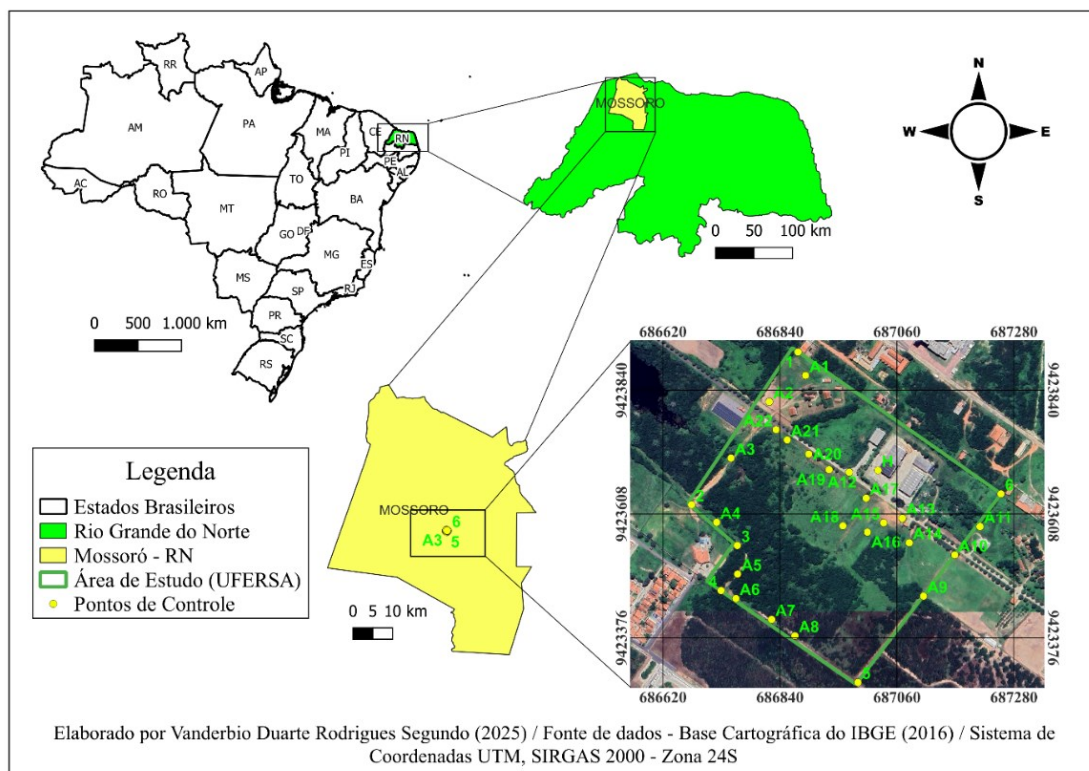
4.1 Área de estudo

O presente estudo foi realizado em Mossoró, cidade do interior do estado brasileiro do Rio Grande do Norte (RN), que apresenta um clima tropical semiárido, caracterizado por altas temperaturas durante todo o ano e uma estação seca prolongada, com chuvas concentradas em poucos meses, onde a vegetação predominante é a caatinga.

O município de Mossoró está localizado nas seguintes coordenadas geográficas: 5° 11' 15" de latitude sul e 37° 20' 39" de longitude oeste, com altitude 20 metros acima do nível do mar. De acordo com o último censo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2022), Mossoró possui uma população estimada de aproximadamente 264.577 habitantes.

A coleta dos dados se deu no setor de transportes da Universidade Federal Rural do Semiárido (UFERSA), campus Mossoró, com coordenadas geográficas: 5° 12' 39" de latitude sul e 37° 18' 49" de longitude oeste, e possui uma extensão de 20 hectares (ha). A escolha dessa área se deu devido a grande diferença de nível do solo, que possibilitou uma análise ainda melhor da acurácia dos equipamentos em relação as curvas de nível (altimetria) e os modelos digitais gerados (Figura 4).

Figura 4 - Mapa de situação da área de estudo.



Fonte: Autoria própria (2025)

4.2 Equipamentos utilizados

O quadro 2 mostra os principais equipamentos utilizados para a execução do mapeamento.

Quadro 2 – Equipamentos utilizados para execução do mapeamento.

Equipamentos	Especificações
	DJI MINI 2 Peso máximo de decolagem: 246g Distância máxima: 10km Duração de bateria: 31 min Velocidade máxima: 16 m/s Câmera: 12 MP (1/2,3") Compatível com IOS e Android. Fonte: DJI.
	DJI MINI 3 Peso máximo de decolagem: 290g Distância máxima: 10km Duração de bateria: 51 min Velocidade máxima: 16 m/s Câmera: 48 MP (1/1,3") Compatível com IOS e Android. Fonte: DJI.
	DJI MAVIC AIR 2 Peso máximo de decolagem: 570g Distância máxima: 10km Duração de bateria: 34 min Velocidade máxima: 19 m/s Câmera: 48 MP (1/2") Compatível com IOS e Android. Fonte: DJI.
	GNSS/RTK EMLID RS+ Frequência única: L1 Constelações: GPS, GLONASS, BeiDou, Galileo. Distância máxima: 8 km Duração da bateria: 30 horas Aplicativo móvel: Emlid Flow. Fonte: EMLID Brasil.

4.3 Planejamento para a obtenção dos dados

A fim de assegurar a qualidade das imagens a serem geradas, foi adotada uma área de cobertura maior do que a de estudo. O processo envolveu o uso do software Google Earth Pro (GOOGLE EARTH, 2025) para demarcar o perímetro e definir um polígono, que foi salvo no formato *.KML* (Keyhole Markup Language), e que, posteriormente, será utilizado nos aplicativos de mapeamento (Figura 5).

Figura 5 – Delimitação da Área de estudo no Google Earth Pro.



Fonte – Google Earth (2025).

4.4 Coleta de dados

4.4.1 Estabilização da base do GPS/RTK

Com a área definida, o primeiro passo para a obtenção dos dados foi encontrar um local para estabilizar a base do GPS/RTK (Figura 6), que ficou estabilizando por um período de 1 hora antes da coleta dos pontos. Esse tempo é necessário para garantir a estabilização do sinal e a obtenção da coordenada de alta precisão da base, que irá servir para, posteriormente, corrigir as medições realizadas com o “rover”.

Figura 6 – Estabilização da base do GPS/RTK.



Fonte: Autoria própria (2024).

4.4.2 Posicionamento dos alvos no terreno

Como é necessário saber exatamente onde são as coordenadas coletadas, é preciso espalhar “alvos” ou marcações por toda a área de estudo (Figura 7), garantindo a fácil identificação dessas coordenadas nas imagens capturadas pelos drones. Esses alvos, são estrategicamente distribuídos pela área mapeada, sendo fundamentais para a posterior correção e georreferenciamento das imagens no software Agisoft Metashape.

Figura 7 – Posicionamento dos alvos ao longo da área de estudo.



Fonte: Autoria própria (2024).

4.4.3 Coleta dos pontos com o Rover

Após a estabilização da base, e o devido posicionamento dos alvos no chão, iniciou-se a obtenção dos pontos com o receptor “Rover”. A coleta sempre utilizou a solução fixa (FIX)

do GPS (Figura 8), assegurando que as coordenadas obtidas pudessem ser utilizadas de forma confiável na etapa de processamento dos dados capturados pelos drones.

Todos os pontos foram coletados exatamente no centro de cada alvo, com o *Rover* configurado para só coletar a coordenada após 5 segundos parado em cima do alvo. Ao todo, foram 22 alvos, 6 pontos (um em cada vértice) e o ponto do local onde o drone levantou (H), como mostra o mapa que foi utilizado para a coleta (Figura 8).

É de suma importância desenhar aproximadamente onde o alvo foi colocado, pois facilitará muito na hora de corrigir as imagens do drone (Figura 8).

Figura 8 – Emlid Flow (a) e Mapa de localização dos pontos (b).



(a)

(b)

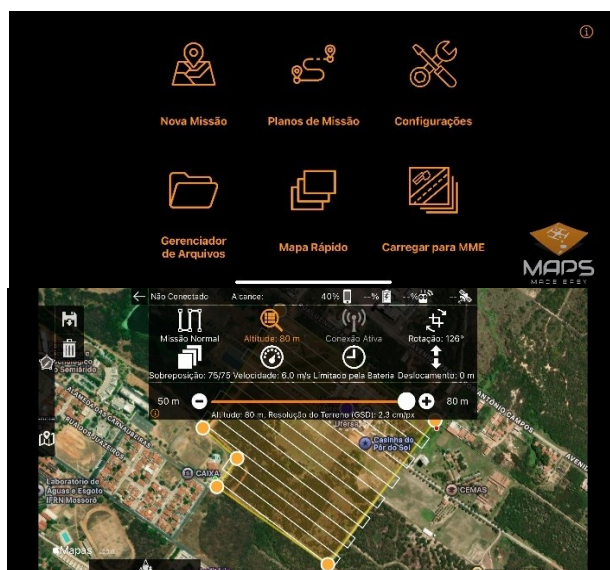
Fonte: Autoria própria (2024).

4.4.4 Execução do plano de voo

Após a coleta das coordenadas de todos os alvos, a obtenção das fotos com os drones se deu em três etapas, sendo uma etapa para cada modelo de aeronave.

Foi importado o polígono da área de estudo feito e demonstrado anteriormente em 4.3, no formato *.KML* para o aplicativo mobile “Map Pilot Pro” (Figura 9) para os drones modelos Mini 3 e Mavic Air 2, e para o aplicativo Litchi para o drone modelo Mini 2, sendo padronizadas as seguintes informações dos planos de voo: Altura de 80 metros, velocidade de 6,0 metros por segundo, sobreposição frontal e lateral de 75% e ângulo de rotação das linhas de 126°, como mostra a Figura 9. Após isso, cada drone fez o seu devido plano de voo automatizado.

Figura 9 – Interface do aplicativo Map Pilot Pro.



Fonte: Autoria própria (2024).

4.5 Processamento dos dados

Inicialmente, foi necessário extrair o arquivo com os pontos do GPS no aplicativo *Emlid Flow*, no formato *.CSV* (planilha) ou arquivo de texto *.txt* (Figura 10). O software Agisoft Metashape recebe os dados com os pontos por meio de tabulações, seja ela por vírgula, ponto, ponto e vírgula e outras maneiras.

Figura 10 – Coordenadas no formato *.txt*.

UNCO DE E Pontos.txt Pontos.txt BANCK oleos_lubrifi BANCO DE E			
Arquivo	Editar	Exibir	
Name	Easting	Northing	Elevation
1	686874.166	9423911.469	31.564
A1	686888.253	9423867.678	32.212
A2	686820.028	9423818.234	28.958
A3	686747.979	9423712.800	24.206
2	686673.720	9423625.379	28.006
3	686759.832	9423548.989	25.715
A5	686760.328	9423495.542	28.519
4	686729.254	9423464.608	30.346
A6	686757.177	9423449.670	30.739
A7	686824.396	9423410.480	27.273
A4	686720.930	9423592.508	25.531
A8	686868.279	9423379.805	30.120
5	686986.647	9423292.388	35.206
A9	687110.139	9423454.173	38.079
A10	687168.894	9423531.310	38.789
6	687255.761	9423645.704	37.360
A11	687216.335	9423584.547	38.374
A12	686970.454	9423686.322	32.176
A13	687070.180	9423600.021	38.382
A14	687083.338	9423554.188	36.605
A15	687035.031	9423591.449	35.843
A16	687004.625	9423573.869	34.216
A17	687002.079	9423637.702	33.550
A18	686958.488	9423585.859	33.195
A19	686932.487	9423691.024	30.778
A20	686894.278	9423720.452	29.825
A21	686853.629	9423746.866	27.886
A22	686832.793	9423765.982	29.034
H	687024.527	9423689.873	36.521

Fonte: Autoria própria (2025).

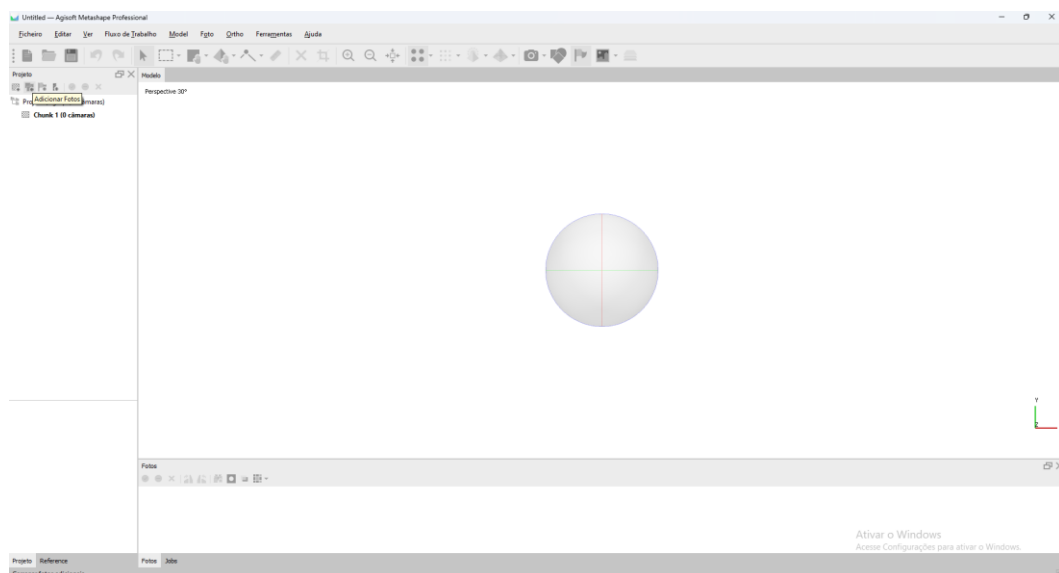
O passo seguinte foi a extração das fotos do drone, que se deu através de um leitor de cartão de memória. Nessa etapa, pode ser que o drone tire uma foto quando estiver subindo, então, é necessário excluí-la.

Com posse destes dados, foi possível iniciar o processamento. O programa utilizado foi o Agisoft Metashape 1.5.1

O processamento das imagens se deu em duas etapas (para cada modelo de drone). A primeira etapa utilizou os pontos de controle do GPS. Já a segunda, não utilizou, com o intuito de analisar a precisão dos equipamentos sem a correção.

A Figura 11 mostra o início do processamento e interface do software.

Figura 11 – Interface do Agisoft Metashape.

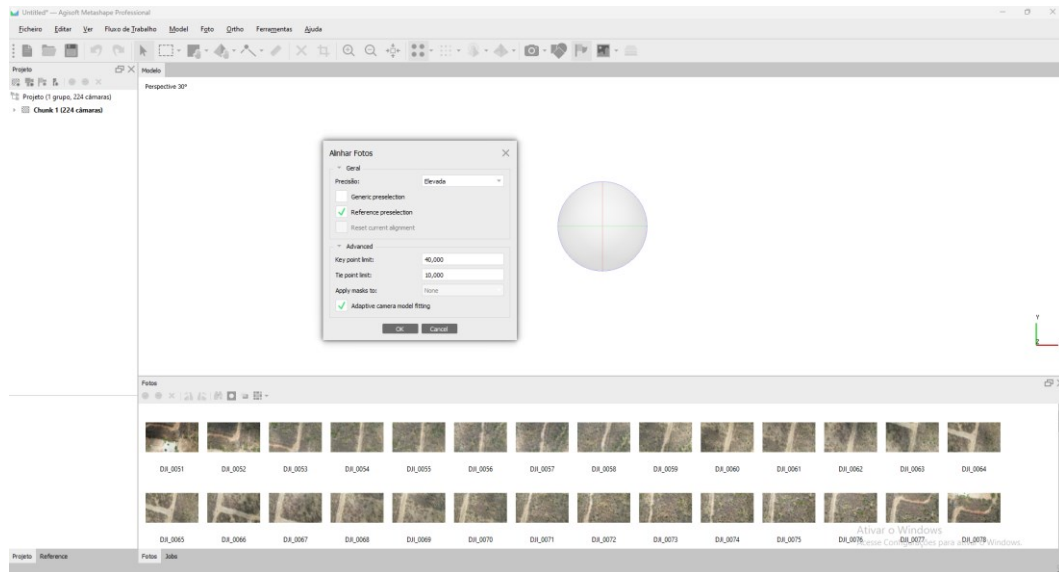


Fonte: Autoria própria (2025).

Logo após o upload das imagens, seguiu-se para a aba “Fluxo de Trabalho” para iniciar o processamento.

Nessa etapa, foi necessário fazer o alinhamento das fotos. É ideal que o alinhamento seja feito na qualidade elevada, para manter uma qualidade nos produtos seguintes, como mostra a Figura 12.

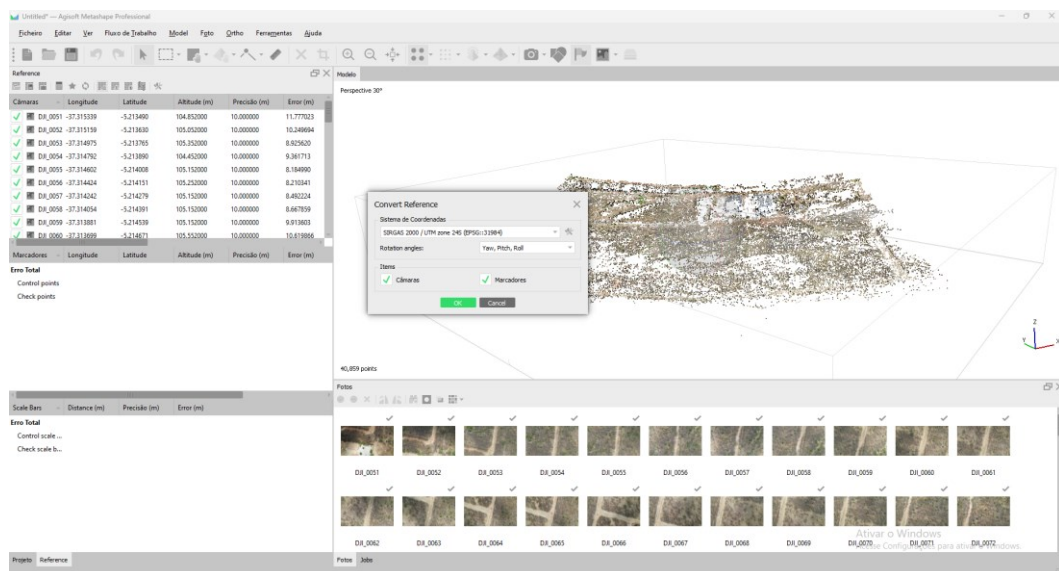
Figura 12 – Alinhamento das fotos.



Fonte: Autoria própria (2025).

Com o alinhamento já feito, é necessário ir na aba “Reference”, e fazer a conversão do sistema de coordenadas planas para SIRGAS 2000, que é Datum oficial do Brasil; projeção cartográfica Universal Transversa de Mercator UTM), ZONA 24Sul, como mostra a Figura 13.

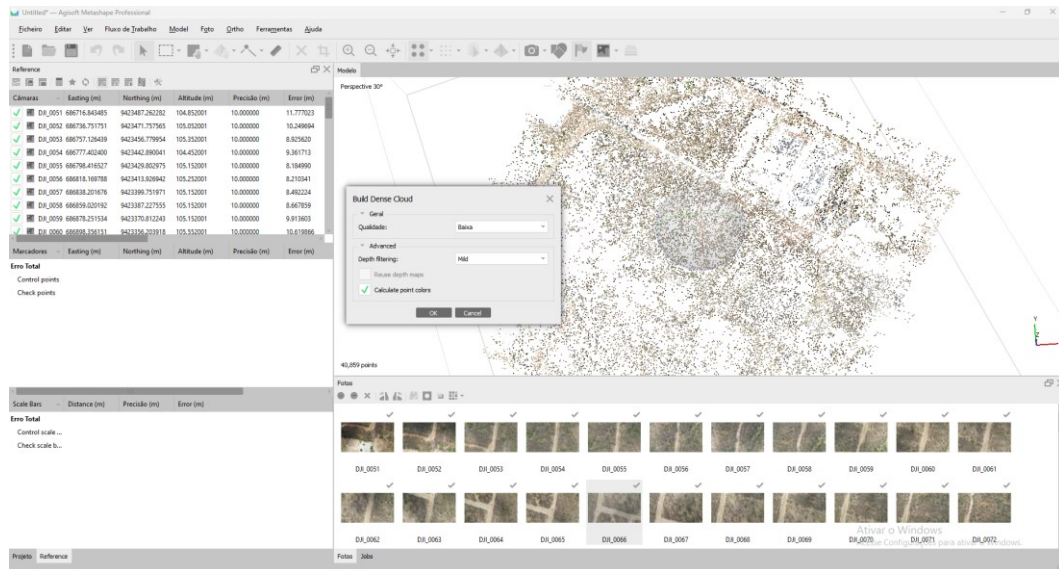
Figura 13 – Conversão de coordenadas.



Fonte: Autoria própria (2025).

Na aba “Fluxo de trabalho” é necessário gerar a nuvem densa de pontos, que a priori pode ser feita na qualidade baixa, já que irá ser descartada posteriormente, devido aos pontos de controle (Figura 14).

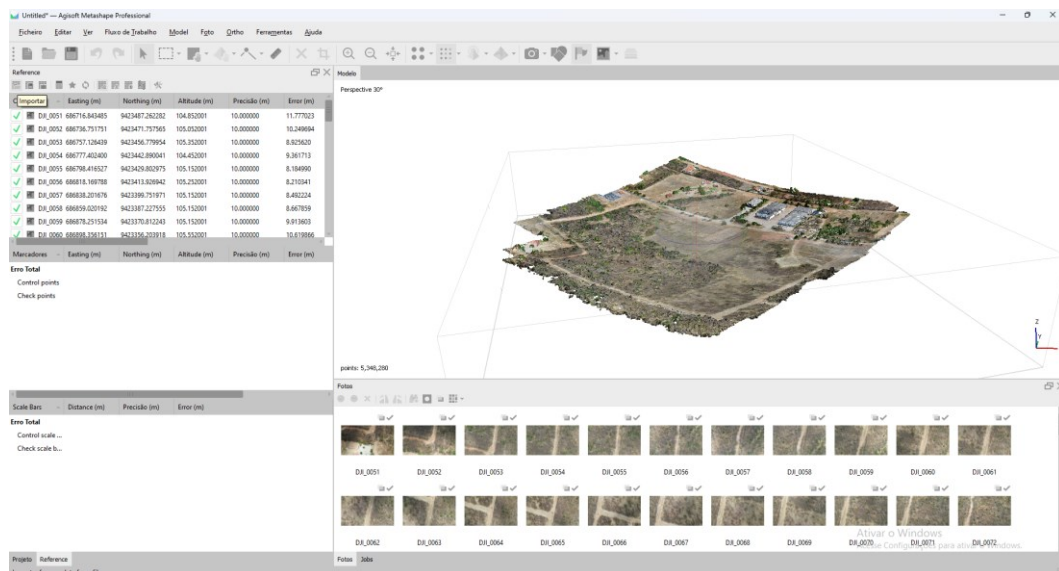
Figura 14 – Construção da “Dense Cloud”.



Fonte: Autoria própria (2025).

Com a nuvem densa gerada, agora é possível importar os pontos de controle, como mostram as Figuras 15 e 16.

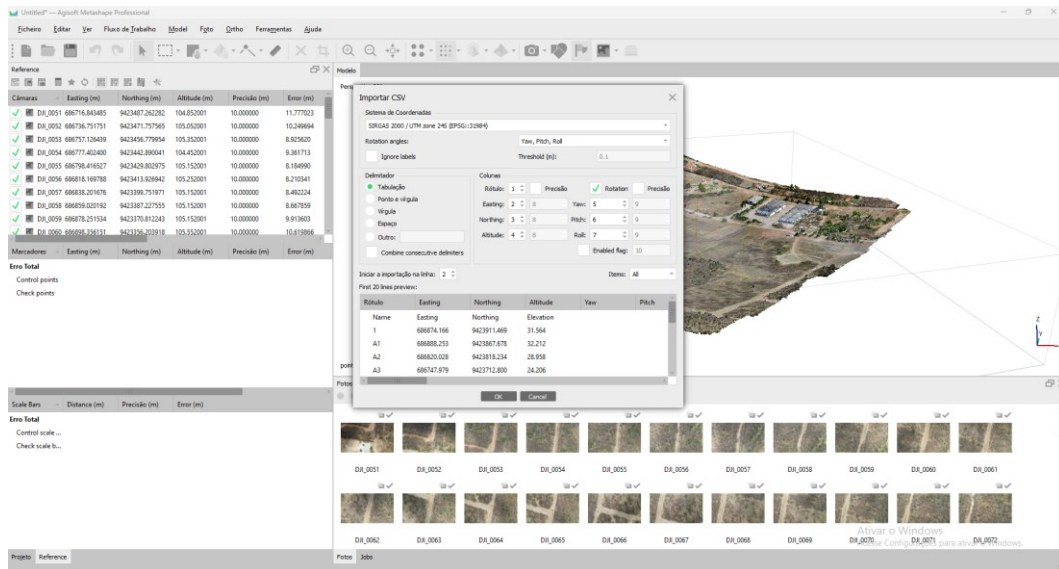
Figura 15 – Importação dos pontos de controle.



Fonte: Autoria própria (2025).

Nessa etapa de adicionar os pontos de controle, é importante apontar as colunas com atenção, para que não tenha o risco de inverter as coordenadas (Figura 16).

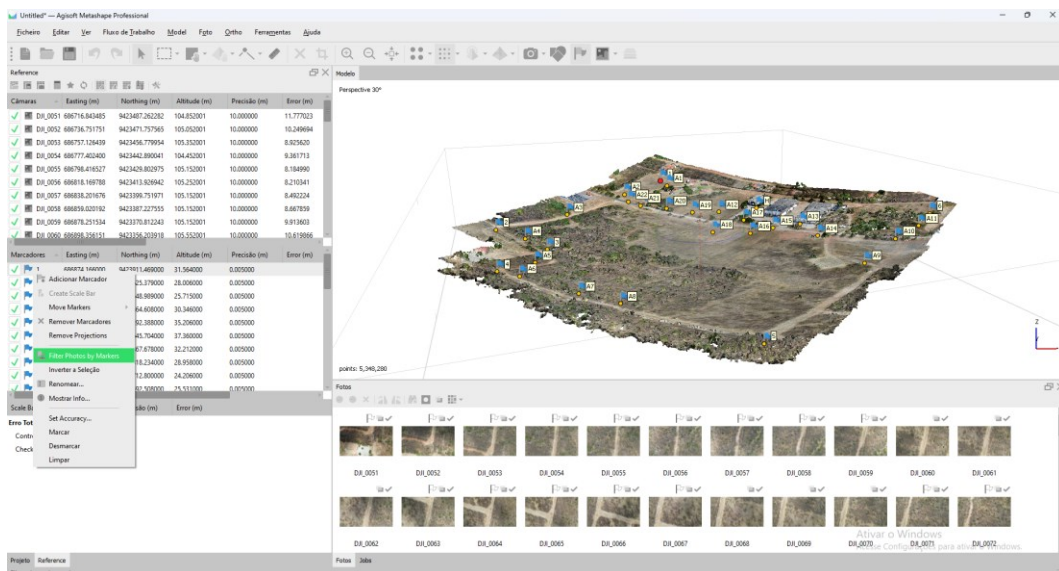
Figura 16 – Importação dos pontos de controle.



Fonte: Autoria própria (2025).

Com os pontos devidamente importados, foi preciso filtrar cada um deles, como mostra a Figura 17, e fazer o posicionamento em cada uma das fotos.

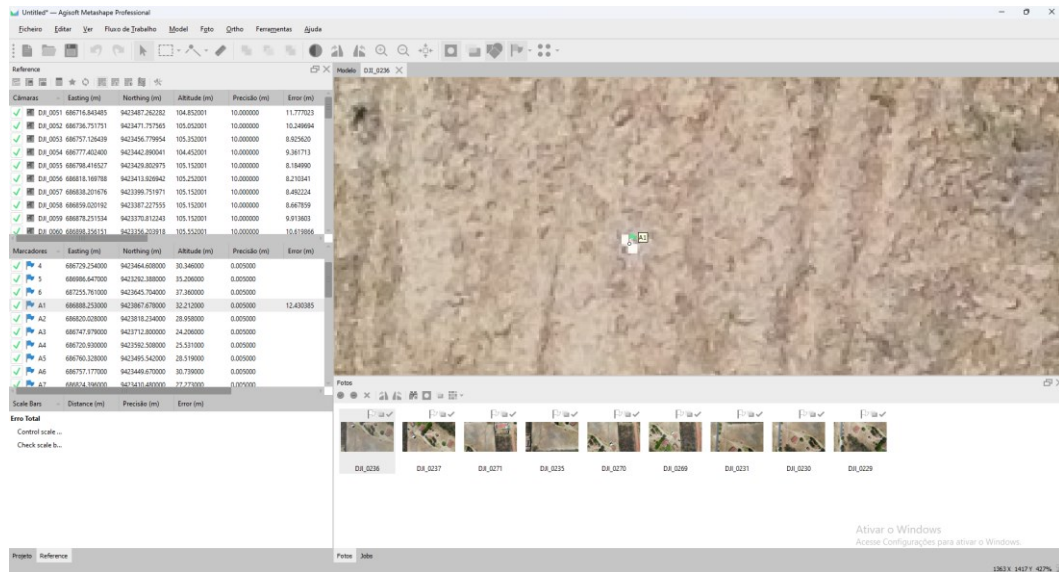
Figura 17 – Filtragem dos pontos.



Fonte: Autoria própria (2025).

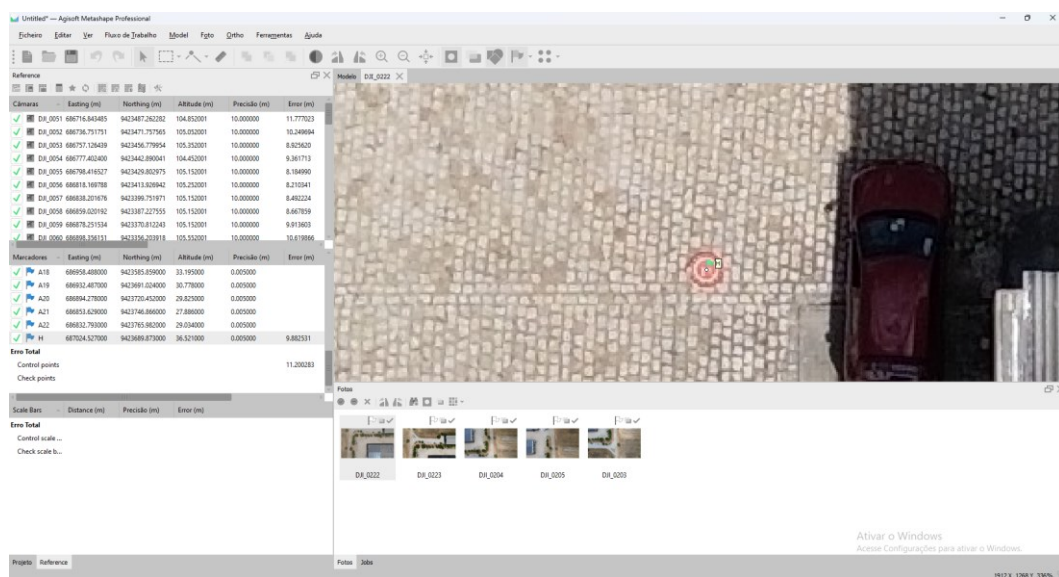
Ao clicar em cima de cada uma das fotos, foi preciso ir apontando cada um dos pontos de controle nos seus devidos alvos, como mostra as Figuras 18 e 19.

Figura 18 – Apontamento dos pontos nos alvos.



Fonte: Autoria própria (2025).

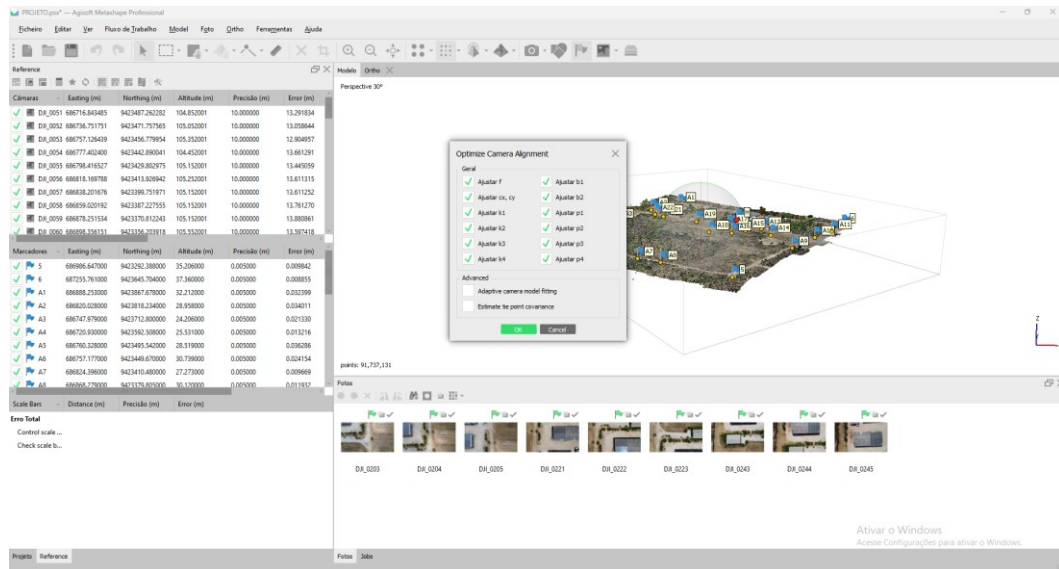
Figura 19 – Apontamento dos pontos nos alvos.



Fonte: Autoria própria (2025).

Finalizado o posicionamento dos pontos nas imagens, utilizou-se do comando “Optimize cameras” para ajustar o as coordenadas das imagens de acordo com as dos pontos de controle (Figura 20), sendo em seguida realizado uma nova nuvem densa, que dessa vez foi feita em qualidade elevada.

Figura 20 – Otimização das câmeras.

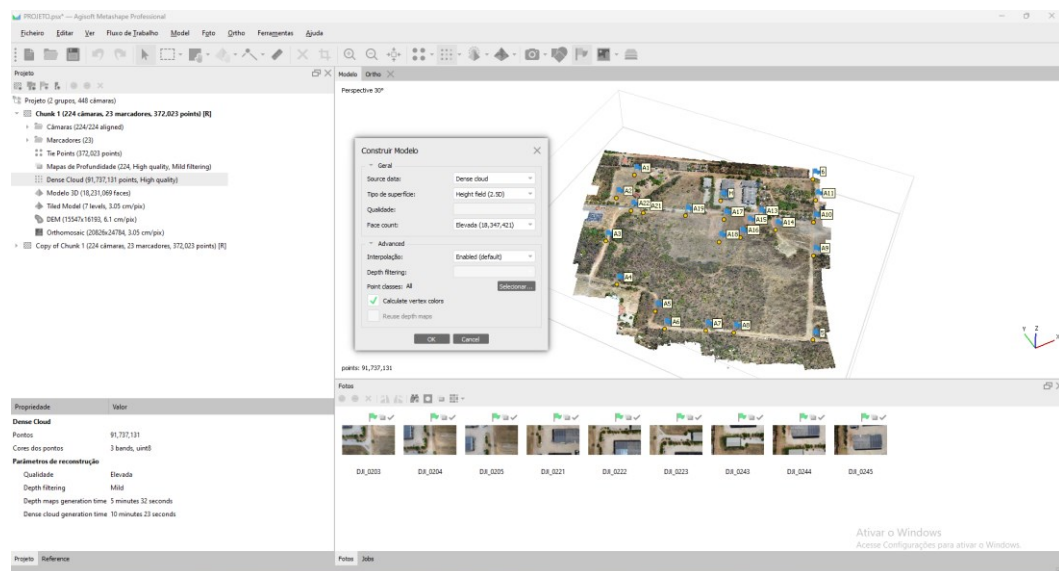


Fonte: Autoria própria (2025).

Após a criação da nuvem densa em qualidade elevada, foi necessário seguir todos os produtos do “Fluxo de Trabalho”, até “Ortomosaico”, como mostram as Figuras 21 a 26.

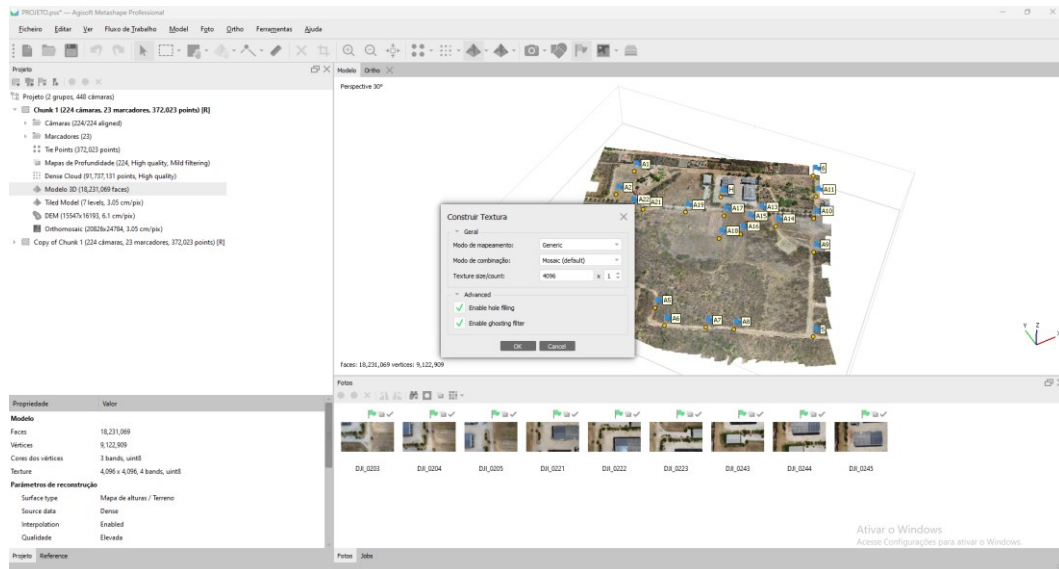
Todos os produtos foram gerados na qualidade elevada.

Figura 21 – Construção do modelo 3D.



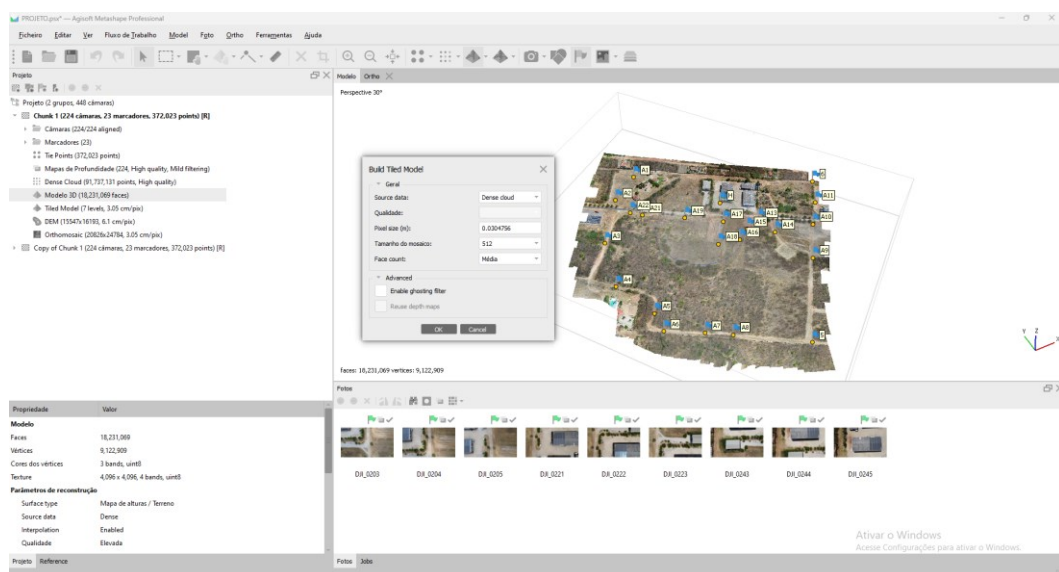
Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 22 – Construção da textura.



Fonte: Autoria própria (2025).

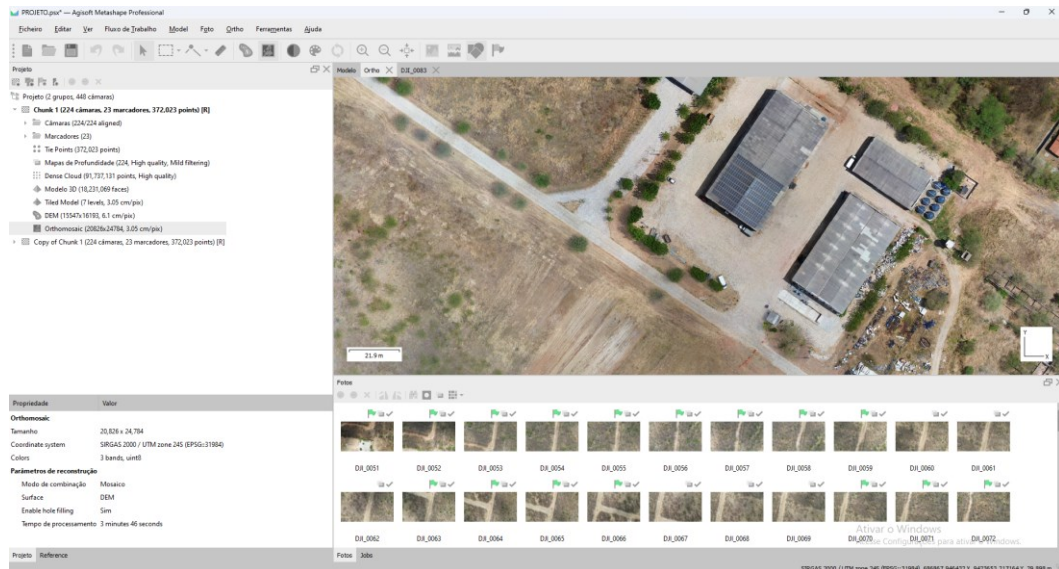
Figura 23 – Construção do Build Tiled Model.



Fonte: Autoria própria (2025).

A Figura 24 é um ponto importante do processamento, pois mostra como gerar o modelo digital de superfície (MDS), que posteriormente foi convertido para o modelo digital de elevação (MDE).

Figura 26 – Ortomosaico finalizado.

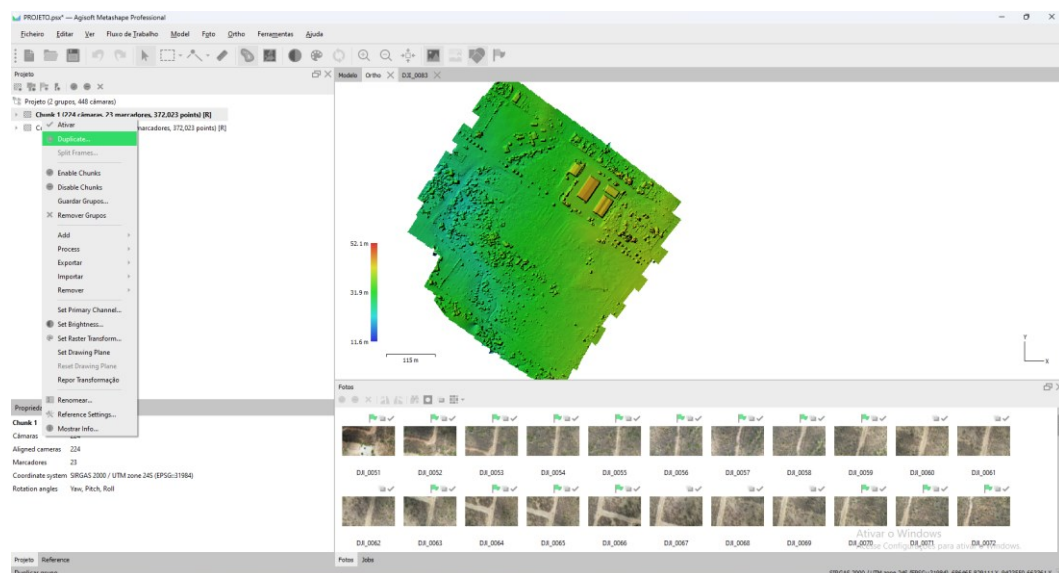


Fonte: Autoria própria (2025).

Após todo esse processo, todos os produtos principais já foram gerados. A segunda etapa do processamento consiste em converter o MDS para MDE.

A figura 27 mostra como duplicar o projeto, que é necessário para não misturar os produtos, pois o MDS existente será convertido em MDE, e também, para manter a organização do trabalho.

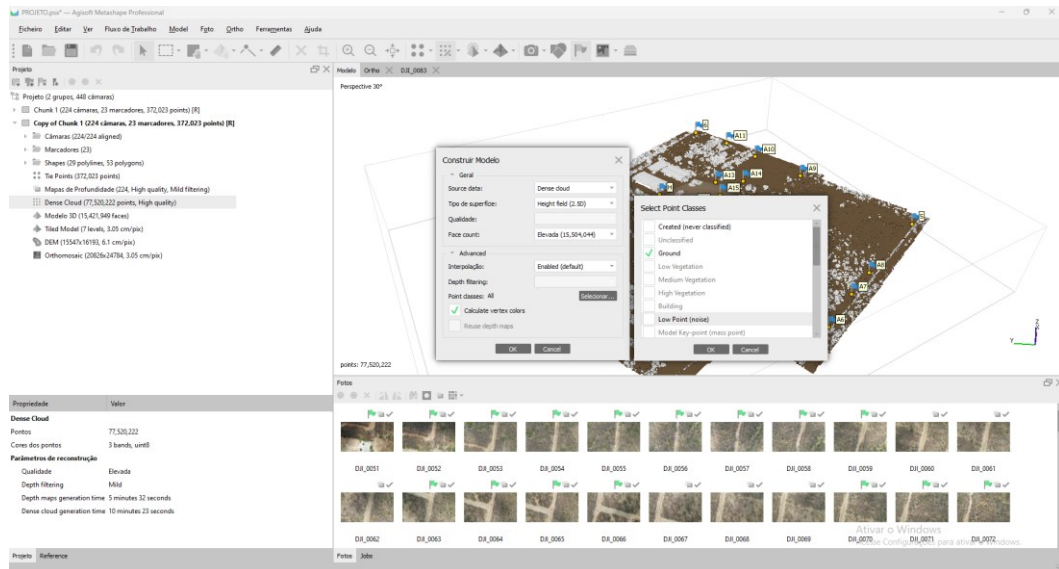
Figura 27 – Duplicando o projeto.



Fonte: Autoria própria (2025).

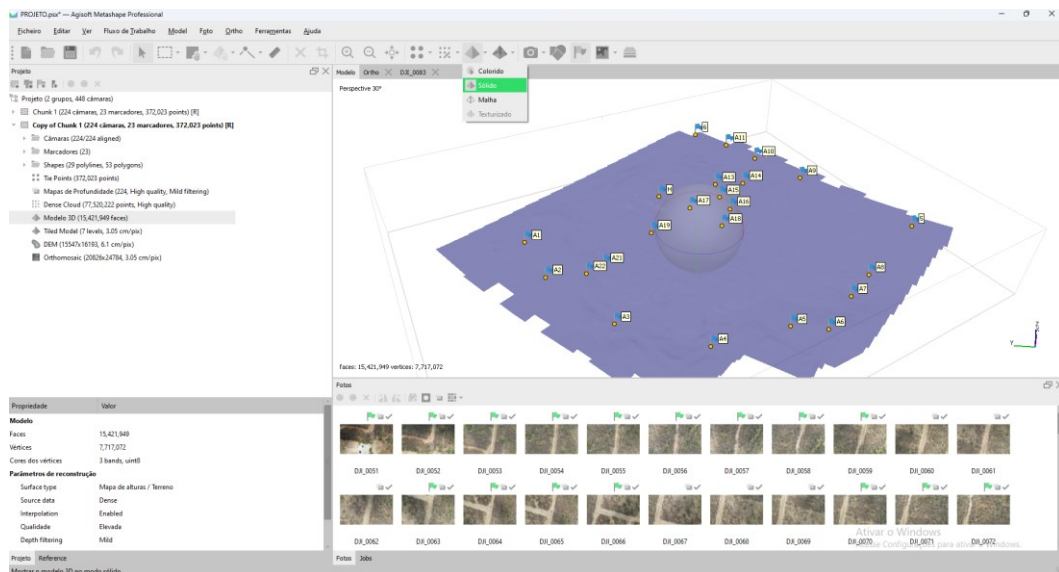
É nessa etapa que o software Agisoft Metashape filtra a nuvem densa e separa o que é terreno, vegetação, construções e estradas (Figura 28).

Figura 30 – Construção do modelo 3D.



Fonte: Autoria própria (2025).

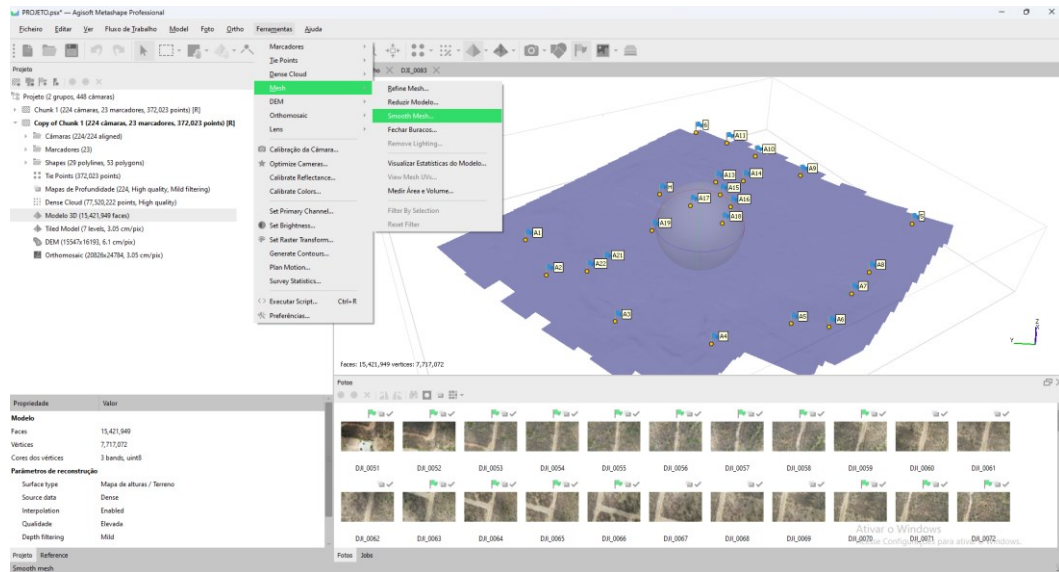
Figura 31 – Modelo 3D do terreno.



Fonte: Autoria própria (2025).

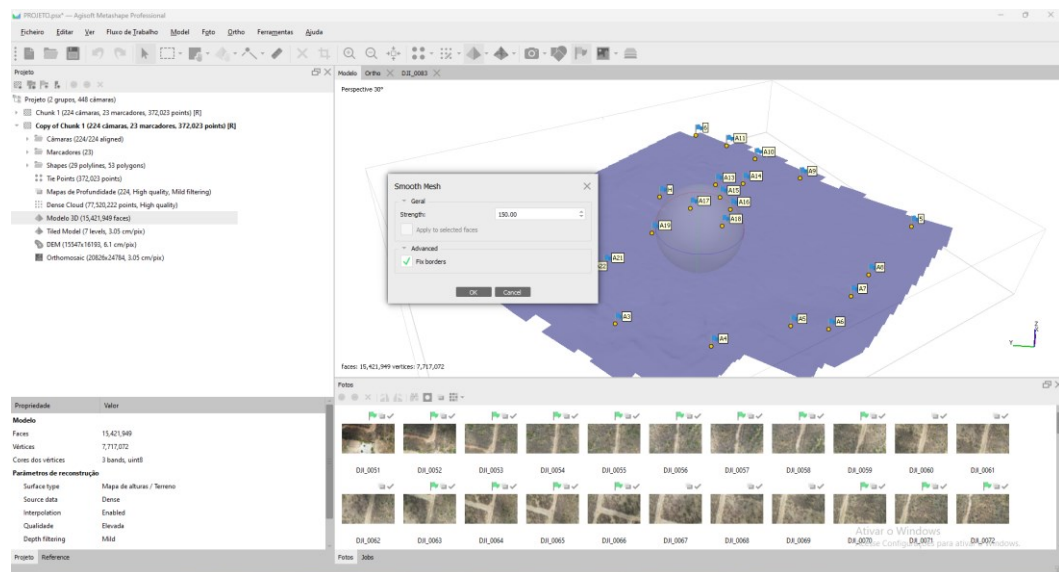
A etapa de suavização “Mesh” é de suma importância, pois quanto mais suavizado ficar o modelo 3D, melhor ficará o resultado das curvas de nível. O valor “Mesh” utilizado nesse processamento foi 150 (Figura 32 e 33).

Figura 32 – Suavização do modelo 3D.



Fonte: Autoria própria (2025).

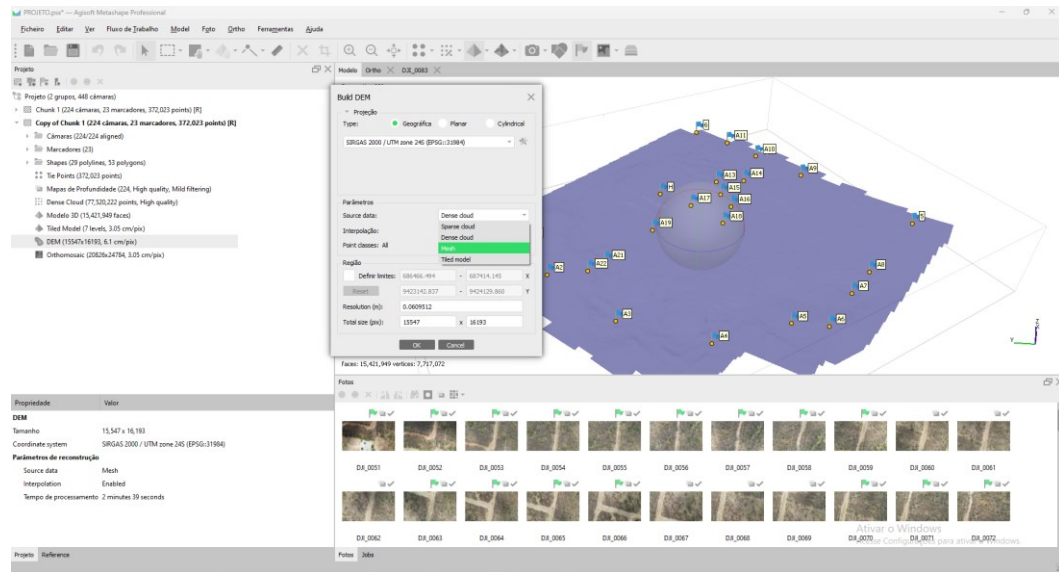
Figura 33 – Suavização do modelo 3D.



Fonte: Autoria própria (2025).

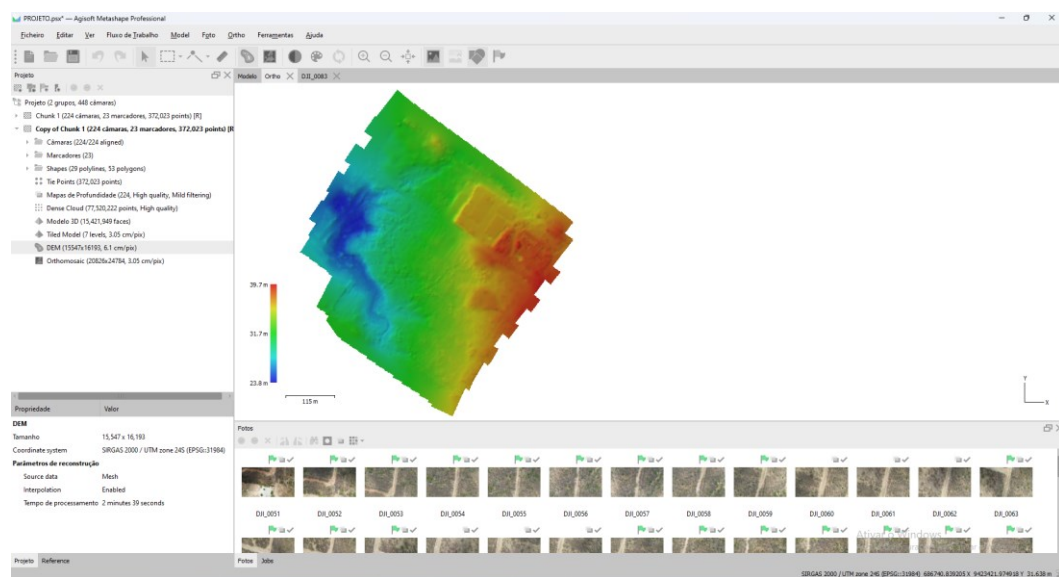
Após a suavização, foi necessário construir novamente o modelo digital, porém, nessa vez só com o solo. Na opção “Source Data”, escolher o “Mesh”, como mostra a Figura 34.

Figura 34 – Construção do MDE.



Fonte: Autoria própria (2025).

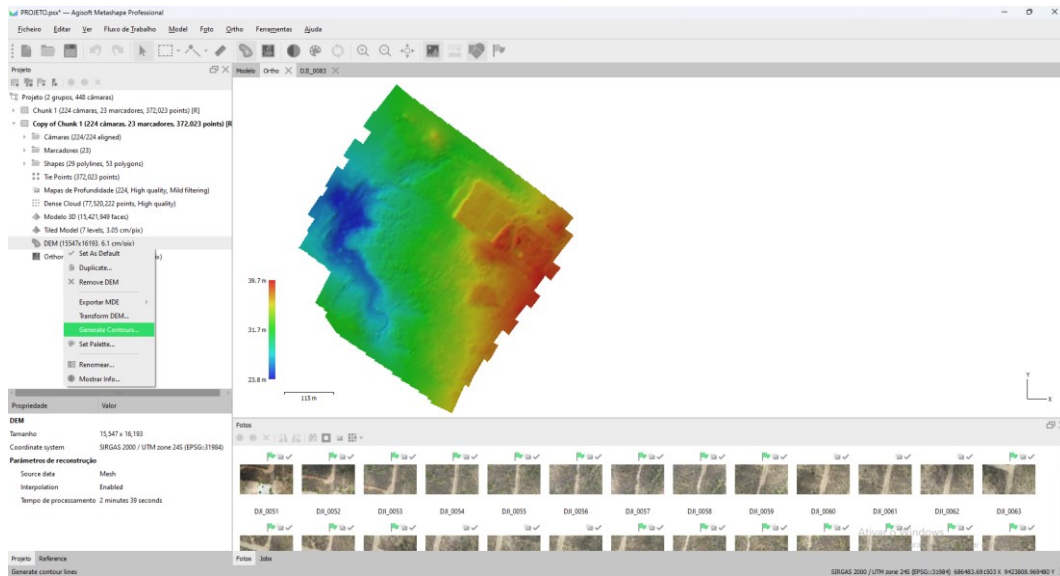
Figura 35 – Resultado do MDE.



Fonte: Autoria própria (2025).

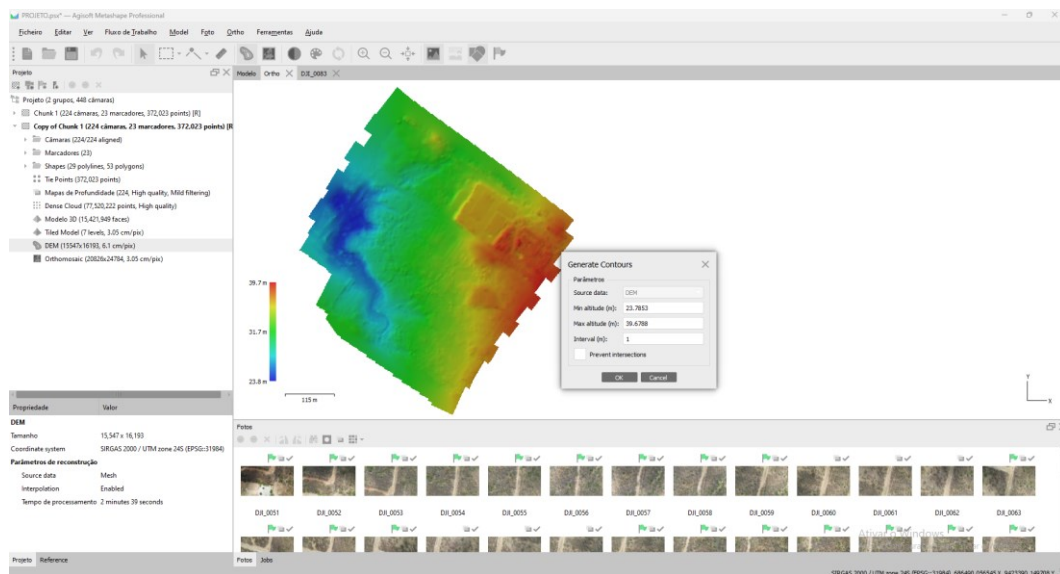
Por último, foi necessário gerar as curvas de nível do MDE, como mostram as Figuras 36 e 37. Foi utilizado o intervalo de 1 metro entre elas.

Figura 36 – Gerando as curvas de nível.



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 37 – Gerando as curvas de nível.



Fonte: Autoria própria (2025).

Este processo foi repetido para cada modelo de drone, com e sem os pontos de controle.

Para fazer o processamento sem os pontos de controle, é necessário apenas ignorar a etapa de adicionar o *.CSV* e seguir o processo de forma análoga.

4.6 Método de comparação

4.6.1 Modelo digital de elevação

Inicialmente, cada modelo de drone teve o produto (MDE) comparado fazendo a diferença entre os pontos de referência de alta precisão (RTK) e o MDE com e sem correção. Para isso, foi feita a média e o desvio padrão de cada resultado.

- Fórmula da média: $\bar{x} = \frac{\sum xi}{n}$
- Fórmula do desvio padrão: $\sigma = \sqrt{\frac{\sum (xi - \bar{x})^2}{n-1}}$

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Estudo dos intervalos de tempo para execução dos planos de voo

O primeiro modelo a fazer o mapeamento foi o DJI Mini 3 (Com bateria plus), decolando às 08:55h com 100% de bateria e chegando no ponto inicial do plano de voo para iniciar o mapeamento com 95%, assim, finalizando a cobertura dos 20 ha às 09:16h com 47% de bateria. Este modelo gastou 53% da bateria para executar o plano de voo (Tabela 1).

Tabela 1 – Tempos (Mini 3).

Voo	Início (h)	Fim (h)	Tempo de voo (min)	Bateria ao decolar (%)	Bateria ao pousar (%)
1	08:55h	09:16h	16 min	100	47

Fonte: Autoria própria (2025).

O segundo modelo a fazer o mapeamento foi o DJI Mavic Air 2, decolando às 09:27h com 100% de bateria e chegando ao ponto inicial do plano de voo para iniciar o mapeamento com 93%, assim, finalizando sua primeira bateria às 09:45h, porém, diferentemente do primeiro modelo, foi necessário utilizar a segunda bateria para finalizar o mapeamento, tendo início às 09:51h com 100% e fim às 09:55h com 80% de bateria (Tabela 2).

Tabela 2 – Tempos (Air 2).

Voo	Início (h)	Fim (h)	Tempo de voo (min)	Bateria ao decolar (%)	Bateria ao pousar (%)
1	09:27h	09:45h	18 min	100	20
2	09:51h	09:55h	4 min	100	80

Fonte: Autoria própria (2025).

O terceiro modelo a fazer o mapeamento foi o DJI Mini 2, decolando às 10:29h com 100% de bateria e chegando ao ponto inicial do plano de voo para iniciar o mapeamento com 92%, assim, finalizando sua primeira bateria às 10:43h, porém, semelhante ao segundo modelo, foi necessário utilizar a segunda bateria para finalizar o mapeamento, tendo início às 10:46h com 95% e fim às 10:59h com 36% de bateria (Tabela 3).

Tabela 3 – Tempos (Mini 2).

Voo	Início (h)	Fim (h)	Tempo de voo (min)	Bateria ao decolar (%)	Bateria ao pousar (%)
1	10:29h	10:43h	14 min	92	24
2	10:46h	10:59	13 min	95	36

Fonte: Autoria própria (2025).

A bateria estendida do DJI Mini 3 permite um tempo de voo significativamente maior em comparação com as baterias padrão. E isso é comprovado com o gasto de bateria para mapear a mesma área de 20 ha. O modelo precisou de apenas 52% de uma bateria para concluir. Logo, essa capacidade de voo estendida torna o DJI Mini 3 uma excelente opção para missões de mapeamento aéreo que exigem cobertura de áreas maiores.

O Air 2 teve um gasto de bateria relevante, mas isso pode ser explicado pelo seu acréscimo de peso, em relação aos outros modelos Mini, que aumenta o consumo consideravelmente.

5.2 Modelo digital de elevação (MDE)

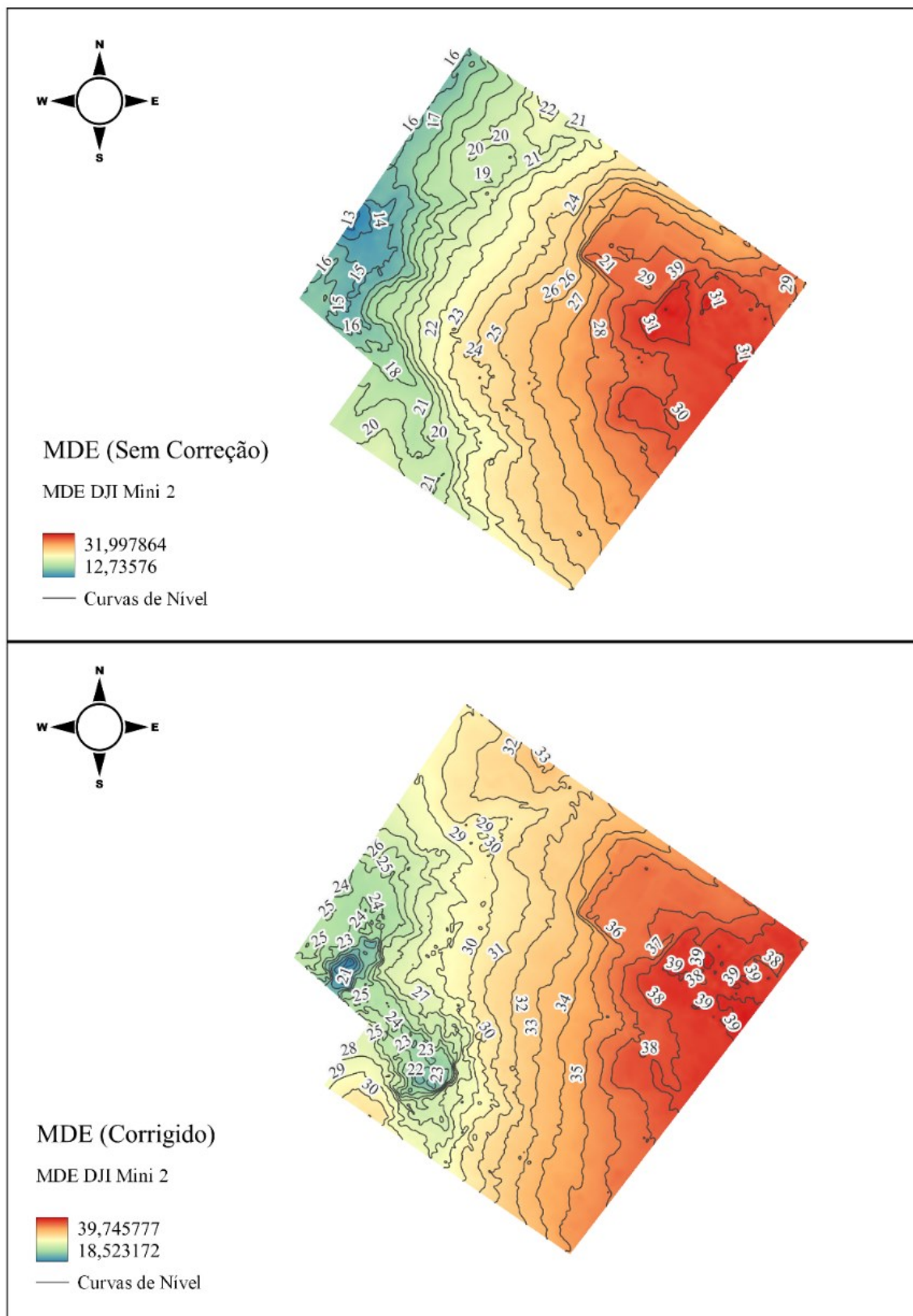
5.2.1 DJI Mini 2

A Figura 38 mostra a diferença entre o MDE com e sem a correção RTK. Foi possível observar que, no geral, as curvas de nível do modelo gerado sem os pontos de controle, são mais baixas, que indicam que o DJI Mini 2 subestima as cotas, em média.

O modelo gerado com os pontos de controle teve uma confusão na parte mais baixa, que pode ter sido por alguma interferência no sinal ou algum problema no próprio processamento dos dados.

Porém, o comportamento do MDE mostrou que o Mini 2 conseguiu mostrar o padrão do terreno muito bem, nos dois casos.

Figura 38 – Modelo digital de elevação gerado pelo drone modelo Mini 2.



Fonte: Autoria própria (2025).

Tabela 4 – Cotas obtidas pelo drone modelo Mini 2.

Pontos	Z (RTK)	Z (Mini 2)	Z (Mini 2*)
1	31,56	16,44	30,28
A1	32,21	18,59	31,16
A2	28,96	16,73	29,07
A3	24,21	13,92	24,22
2	28,01	16,45	25,20
3	25,72	17,96	26,38
A5	28,52	19,32	28,51
4	30,35	19,80	30,18
A6	30,74	20,69	30,75
A7	27,27	18,92	27,73
A4	25,53	15,87	21,48
A8	30,12	21,30	30,22
5	35,21	24,02	35,09
A9	38,08	30,19	38,13
A10	38,79	31,00	38,89
6	37,36	27,90	37,64
A11	38,37	29,81	38,27
A12	32,18	24,70	32,22
A13	38,38	31,29	38,50
A14	36,61	29,69	37,51
A15	35,84	29,34	36,23
A16	34,22	27,84	34,48
A17	33,55	26,73	33,62
A18	33,20	26,64	33,26
A19	30,78	23,14	30,84
A20	29,83	21,36	29,89
A21	27,89	18,60	28,12
A22	29,03	18,64	28,73
H	36,52	28,85	36,19

Fonte: Autoria própria (2025).

Nota: * significa correção com o GNSS RTK.

Tabela 5 – Média e desvio padrão dos pontos coletados pelo drone modelo Mini 2.

Resultados	Δ (RTK - Mini 2)	Δ (RTK - Mini 2*)	Δ (Mini 2 - Mini 2*)
Média (μ)	-8,56	0,06	-8,53
Desvio Padrão (σ)	2,17	1,00	1,93

Fonte: Autoria própria (2025).

Nota: * significa correção com o GNSS RTK.

- **Δ (RTK - Mini 2)**

A média de -8,56 indica que o drone Mini 2 tende a subestimar as altitudes em relação ao RTK. Isso significa que, em média, as medições do Mini 2 são 8,56 metros mais baixas do que as do RTK.

O desvio padrão de 2,17 indica uma variabilidade considerável nas diferenças entre o Mini 2 e o RTK. Significando que, embora a média seja de 8,56, as diferenças individuais podem variar bastante em torno desse valor.

- **Δ (RTK - Mini 2*)**

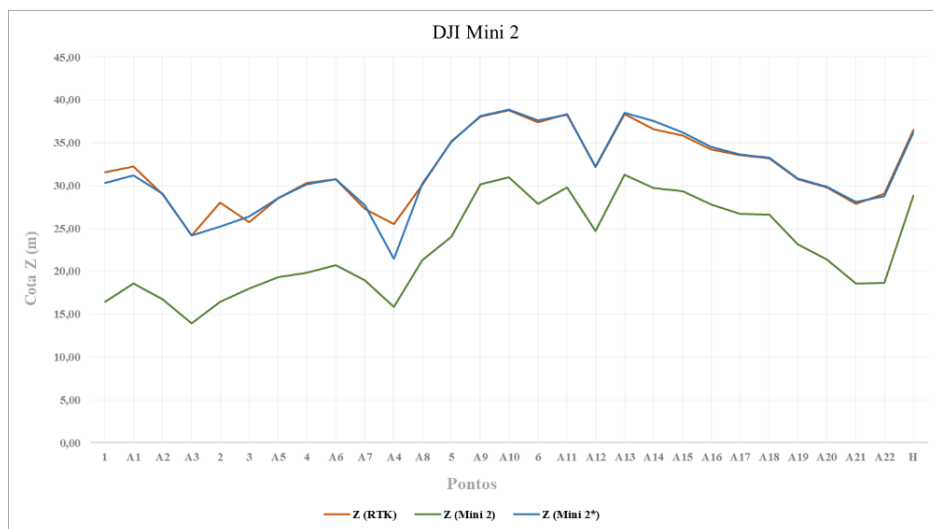
A média de 0,06 é extremamente próxima de zero. Isso indica que o drone Mini 2* com correção RTK apresenta um viés mínimo em relação ao RTK. Em outras palavras, em média, as medições do Mini 2* são quase idênticas às do RTK.

O desvio padrão de 1,00 é relativamente baixo. Isso indica que as diferenças entre as medições do Mini 2* e do RTK são consistentes e se concentram em torno da média de 0,06.

Embora a média seja muito próxima de zero, alguns pontos apresentam diferenças maiores, como A4 (-4,05) e 2 (-2,80), possivelmente devido à topografia complexa ou interferência de sinal.

Os resultados demonstram que o Mini 2* com correção RTK apresenta alta precisão em comparação com o RTK, isso indica que a correção RTK elimina o viés e reduz a variabilidade, tornando o Mini 2* uma ferramenta confiável para levantamentos topográficos.

Gráfico 1 – Cotas (RTK, Mini 2, Mini 2*).



Fonte: Autoria própria (2025).

O Gráfico 1 reforça o comportamento visto no modelo digital de elevação, média e desvio padrão, onde demonstra que o Mini 2 tende a coletar as altitudes abaixo da referência de precisão RTK.

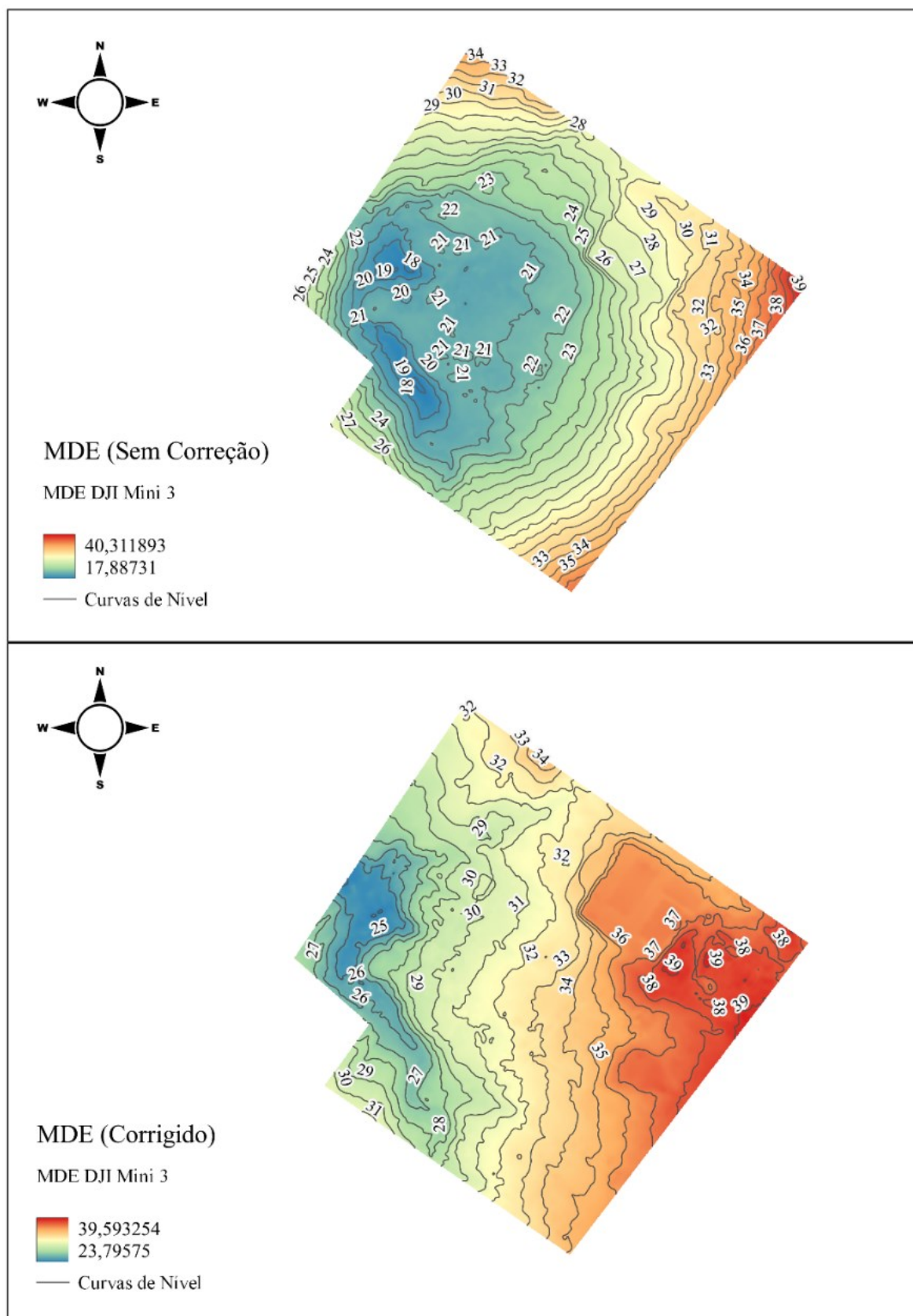
5.2.2 DJI Mini 3

Como visto anteriormente, a Figura 39 mostra a diferença entre o MDE com e sem a correção RTK. Foi possível observar que, no geral, as curvas de nível do modelo gerado sem os pontos de controle, são mais baixas, que indicam que o drone DJI Mini 3 subestima as cotas, em média, como visto nos resultados do Mini 2, mostrando um padrão entre os modelos de drone da linha Mini.

Diferentemente do modelo analisado anteriormente, o Mini 3 não apresentou confusão no MDE ao corrigir com os pontos de controle, que evidencia que a possível causa possa ter sido o processamento dos dados.

O comportamento entre os dois MDE's mostrou que o Mini 3 não conseguiu manter exatamente o padrão real do terreno sem a correção RTK.

Figura 39 – Modelo digital de elevação gerado pelo drone modelo Mini 3.



Fonte: Autoria própria (2025).

Tabela 6 – Cotas obtidas pelo drone modelo Mini 3.

Pontos	Z (RTK)	Z (Mini 3)	Z (Mini 3*)
1	31,56	34,66	32,17
A1	32,21	31,45	32,18
A2	28,96	26,99	29,08
A3	24,21	20,53	24,31
2	28,01	26,27	27,87
3	25,72	20,12	26,77
A5	28,52	22,69	28,61
4	30,35	26,68	30,40
A6	30,74	26,13	30,79
A7	27,27	22,86	27,80
A4	25,53	21,09	25,65
A8	30,12	26,15	30,22
5	35,21	36,74	35,09
A9	38,08	33,40	38,15
A10	38,79	34,53	38,76
6	37,36	40,31	37,72
A11	38,37	37,68	38,40
A12	32,18	21,82	32,15
A13	38,38	28,63	38,35
A14	36,61	28,17	36,56
A15	35,84	25,28	36,01
A16	34,22	23,34	34,40
A17	33,55	22,45	33,60
A18	33,20	22,08	33,39
A19	30,78	20,92	30,90
A20	29,83	21,40	29,99
A21	27,89	21,56	28,20
A22	29,03	23,61	29,00
H	36,52	27,01	36,59

Fonte: Autoria própria (2025).

Nota: * significa correção com o GNSS RTK.

Tabela 7 – Média e desvio padrão dos pontos coletados pelo drone modelo Mini 3.

Resultados	Δ (RTK - Mini 3)	Δ (RTK - Mini 3*)	Δ (Mini 3 - Mini 3*)
Média (μ)	-4,68	0,09	-4,94
Desvio Padrão (σ)	4,19	0,24	4,17

Fonte: Autoria própria (2025).

Nota: * significa correção com o GNSS RTK.

- **Δ (RTK - Mini 3)**

A média de -4,68 indica que o Mini 3 tende a subestimar as altitudes em relação ao RTK. Isso significa que, em média, as medições do modelo de drone Mini 3 são 4,68 metros mais baixas do que as do RTK. Resultado semelhante ao modelo anterior.

O desvio padrão de 4,19 indica uma variabilidade considerável nas diferenças entre o Mini 3 e o RTK. Significando que, embora a média seja de -4,68, as diferenças individuais podem variar bastante em torno desse valor.

- **Δ (RTK - Mini 3*)**

A média de 0,09 é muito próxima de zero, indicando que o Mini 3* (com correção RTK) é altamente preciso em relação ao RTK. Isso confirma a eficácia da correção RTK na eliminação do viés sistemático.

O desvio padrão de 0,24 é muito baixo, indicando que as diferenças entre o Mini 3* e o RTK são muito consistentes. Isso confirma a alta precisão e confiabilidade do Mini 3* com correção RTK.

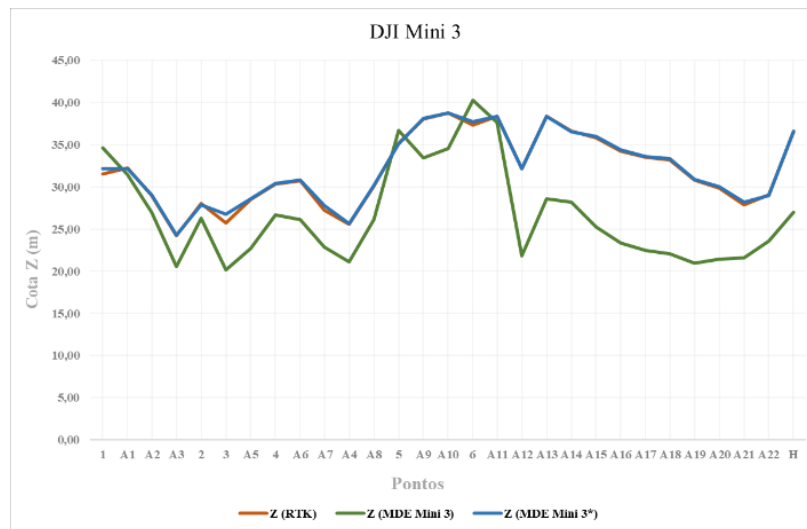
- **Δ (Mini 3 - Mini 3*)**

A média de -4.94, mostra a diferença entre o drone com e sem correção RTK. Mostrando a grande diferença que a correção RTK faz nos dados.

O desvio padrão de 4.17, mostra a variabilidade entre os dois levantamentos, mostrando a precisão que a correção RTK traz.

Os resultados deste modelo demonstram claramente a eficácia da correção RTK na melhoria da precisão dos levantamentos topográficos realizados com drones. O Mini 3* com correção RTK apresentou uma precisão significativamente maior em comparação com o Mini 3 sem correção RTK, com uma média de diferenças próxima de zero e um desvio padrão muito baixo.

Gráfico 2 – Cotas (RTK, Mini 3, Mini 3*).



Fonte: Autoria própria (2025).

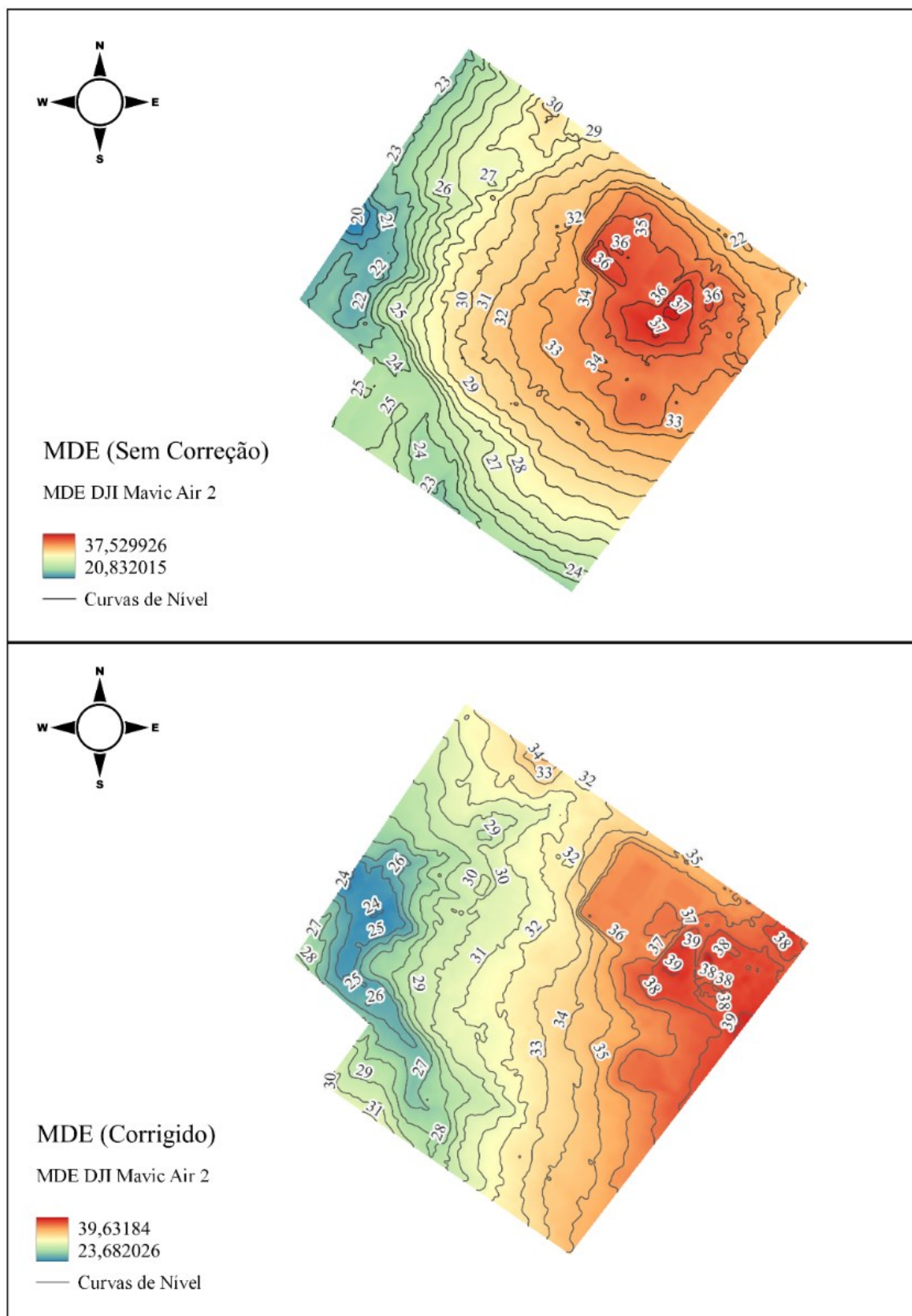
O Gráfico 2, assim, como o Gráfico 1, reforça o comportamento visto no modelo digital de elevação, media e desvio padrão, onde demonstra que o Mini 3 tende a coletar as altitudes abaixo da referência de precisão RTK.

5.2.3 DJI Mavic Air 2

A Figura 40 mostrou que a diferença entre o MDE com e sem a correção RTK foi menor do que a dos outros modelos, porém, ainda assim, subestimando as altitudes em média.

O comportamento entre os dois MDE's mostrou que o Mavic Air 2 conseguiu manter o padrão real do terreno sem a correção RTK.

Figura 40 – Modelo digital de elevação gerado pelo drone modelo Air 2.



Fonte: Autoria própria (2025).

Tabela 8 – Cotas obtidas pelo drone modelo Air 2.

Pontos	Z (RTK)	Z (Air 2)	Z (Air 2*)
1	31,56	23,75	32,13
A1	32,21	25,85	32,16
A2	28,96	23,89	29,05
A3	24,21	20,30	24,27
2	28,01	21,80	28,14
3	25,72	24,24	26,81
A5	28,52	24,71	28,60
4	30,35	24,24	30,38
A6	30,74	25,47	30,75
A7	27,27	23,14	27,70
A4	25,53	22,33	25,64
A8	30,12	23,70	30,20
5	35,21	23,58	35,03
A9	38,08	32,60	38,06
A10	38,79	33,65	38,75
6	37,36	29,86	37,42
A11	38,37	32,34	38,37
A12	32,18	32,13	32,18
A13	38,38	37,01	38,36
A14	36,61	34,72	36,55
A15	35,84	35,29	35,96
A16	34,22	33,91	34,29
A17	33,55	33,45	33,55
A18	33,20	33,38	33,29
A19	30,78	30,91	30,87
A20	29,83	29,14	29,96
A21	27,89	26,24	28,14
A22	29,03	26,06	28,99
H	36,52	35,95	36,60

Fonte: Autoria própria (2025).

Nota: * significa correção com o GNSS RTK.

Tabela 9 – Média e desvio padrão dos pontos coletados pelo drone modelo Air 2.

Resultados	Δ (RTK - Air 2)	Δ (RTK - Air 2*)	Δ (Air 2 - Air 2*)
Média (μ)	-3,81	-0,07	-3,89
Desvio Padrão (σ)	2,99	0,24	2,97

Fonte: Autoria própria (2025).

Nota: * significa correção com o GNSS RTK.

- Δ (RTK – Air 2)

A média de -3,81 indica que o Air 2 tende a subestimar as altitudes em relação ao RTK. Isso significa que, em média, as medições do Air 2 são 3,81 metros mais baixas do que as do RTK.

O desvio padrão de 2,99 indica uma variabilidade considerável nas diferenças entre o Air 2 e o RTK. Isso significa que, embora a média seja de -3,81, as diferenças individuais podem variar bastante em torno desse valor.

- Δ (RTK – Air 2*)

A média de -0,07 é muito próxima de zero, indicando que o Air 2* (com correção RTK) é altamente preciso em relação ao RTK. Isso confirma a eficácia da correção RTK na eliminação do viés sistemático.

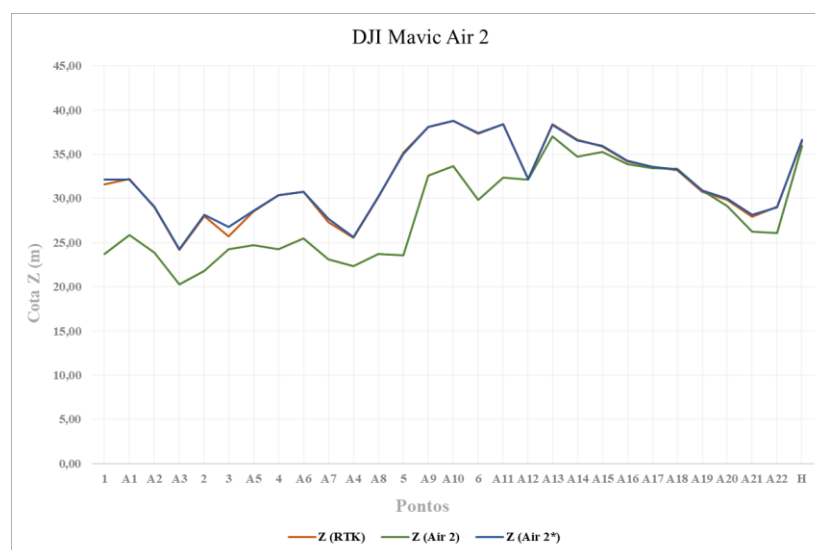
O desvio padrão de 0,24 é muito baixo, indicando que as diferenças entre o Air 2* e o RTK são muito consistentes. Isso confirma a alta precisão e confiabilidade do Air 2* com correção RTK.

- Δ (Air 2 – Air 2*)

A média de -3.89, mostra a diferença entre o drone com e sem correção RTK. Mostrando a grande diferença que a correção RTK faz nos dados.

O desvio padrão de 2.97, mostra a variabilidade entre os dois drones, mostrando a precisão que a correção RTK traz.

Gráfico 3 – Cotas (RTK, Mini 3, Mini 3*).



Fonte: Autoria própria (2025).

O Gráfico 3 evidenciou a menor diferença entre o MDE gerado sem os pontos de controle o RTK.

Tabela 10 – Dados brutos dos modelos.

Dados (sem correção RTK)		
Modelos	Média	Desvio Padrão
Mini 2	-8,56	2,17
Mini 3	-4,68	4,19
Air 2	-3,81	2,99

Fonte: Autoria própria (2025).

Tabela 11 – Dados brutos dos modelos*.

Dados (com correção RTK)		
Modelos	Média	Desvio Padrão
Mini 2*	0,06	1,00
Mini 3*	0,09	0,24
Air 2*	-0,07	0,24

Fonte: Autoria própria (2025).

No cenário de não utilizar algum tipo de correção, o modelo Air 2 apresentou a menor média de diferença em relação a referência (-3.81), indicando que, em média, é o mais próximo do RTK sem a correção.

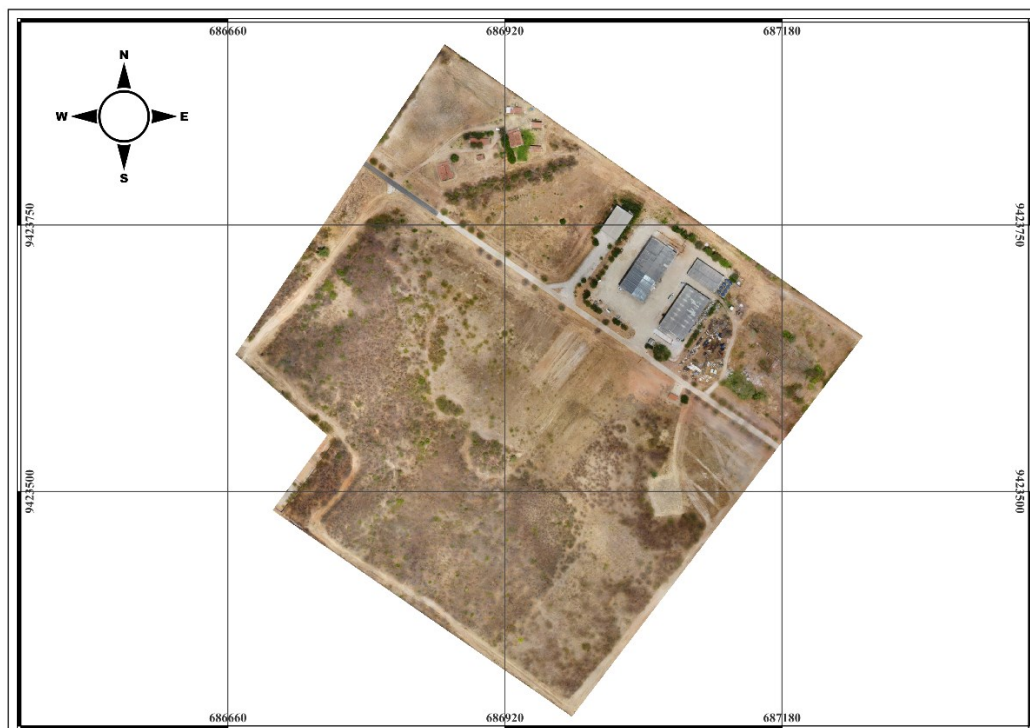
Portanto, para aplicações que exigem alta precisão, o uso de correção RTK é fundamental, e os três modelos (Mini 3*, Mini 2* e Air 2*) fornecem resultados comparáveis e altamente precisos.

5.3 Ortofoto

5.3.1 DJI Mini 2

A Figura 41 mostra a ortofoto gerada pelo Mini 2, que, no geral, apresentou alta clareza nos detalhes e ausência de distorções visíveis. Isso mostra que a aeronave conseguiu manter uma estabilidade satisfatória durante a captura das imagens.

Figura 41 – Ortofoto da área de estudo gerada pelo levantamento realizado pelo drone modelo Mini 2.



Fonte: Autoria própria (2025).

Tabela 12 – Erros DJI Mini 2 (sem correção).

DJI Mini 2 (sem correção)				
X erro (m)	Y erro (m)	Z erro (m)	XY erro (m)	Erro total (m)
1,28	1,52	1,67	1,99	2,59

Fonte: Autoria própria (2025).

Tabela 13 – Erros DJI Mini 2 (com correção).

DJI Mini 2 (com correção)				
X erro (cm)	Y erro (cm)	Z erro (cm)	XY erro (cm)	Erro total (cm)
9,82	7,61	9,02	12,43	15,36

Fonte: Autoria própria (2025).

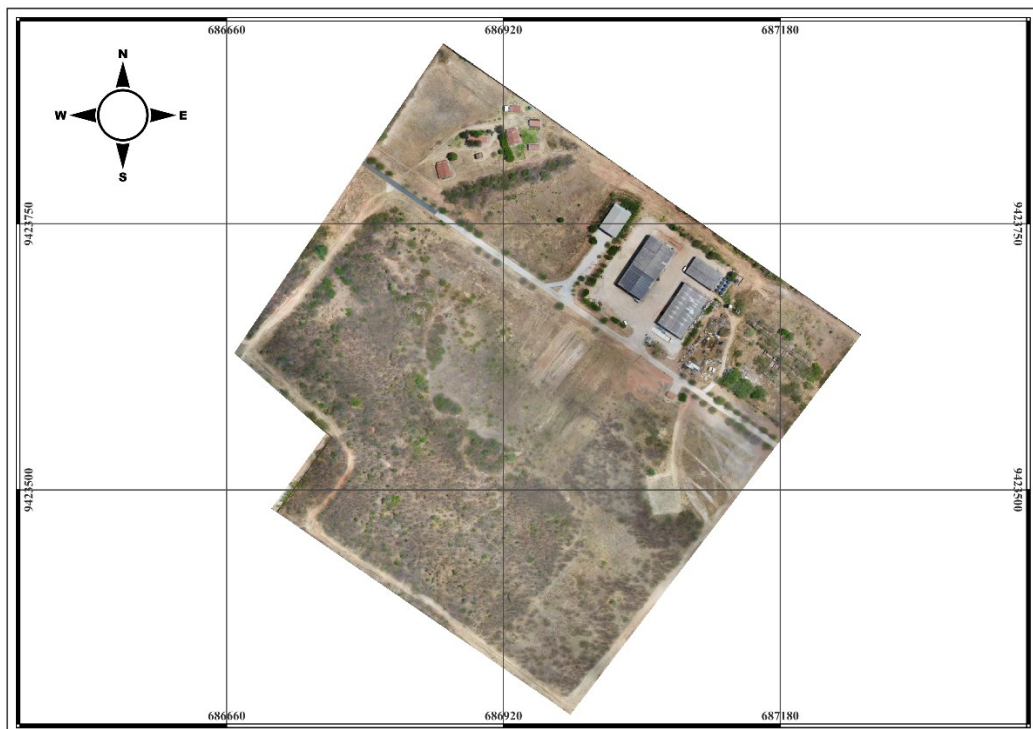
O Mini 2 apresentou um erro total de 2,59 m na ortofoto sem a correção com os pontos de controle (Tabela 12), o que mostra que o produto gerado não possui uma precisão elevada, tornando-o não indicado para trabalhos que exigem uma precisão alta.

O cenário é bem diferente na Tabela 13, onde fica notável a redução do erro total, caindo de 2,59 m para 15,36 cm, evidenciando novamente a importância dos pontos de controle, que reduziram o erro em 94,06%.

5.3.2 DJI Mini 3

A Figura 42 mostra a ortofoto gerada pelo Mini 3, que, no geral, apresentou alta clareza nos detalhes e ausência de distorções visíveis. Isso mostra que a aeronave conseguiu manter uma estabilidade satisfatória durante a captura das imagens. O Mini 3 teve o resultado bem equiparado ao Mini 2.

Figura 42 – Ortofoto da área de estudo gerada pelo levantamento realizado pelo drone modelo Mini 3.



Fonte: Autoria própria (2025).

Tabela 14 – Erros DJI Mini 3 (sem correção).

DJI Mini 3 (sem correção)				
X erro (m)	Y erro (m)	Z erro (m)	XY erro (m)	Erro total (m)
0,65	0,45	1,00	0,79	1,27

Fonte: Autoria própria (2025).

Tabela 15 – Erros DJI Mini 3 (com correção).

DJI Mini 3 (com correção)				
X erro (cm)	Y erro (cm)	Z erro (cm)	XY erro (cm)	Erro total (cm)
2,76	2,43	0,58	3,67	3,72

Fonte: Autoria própria (2025).

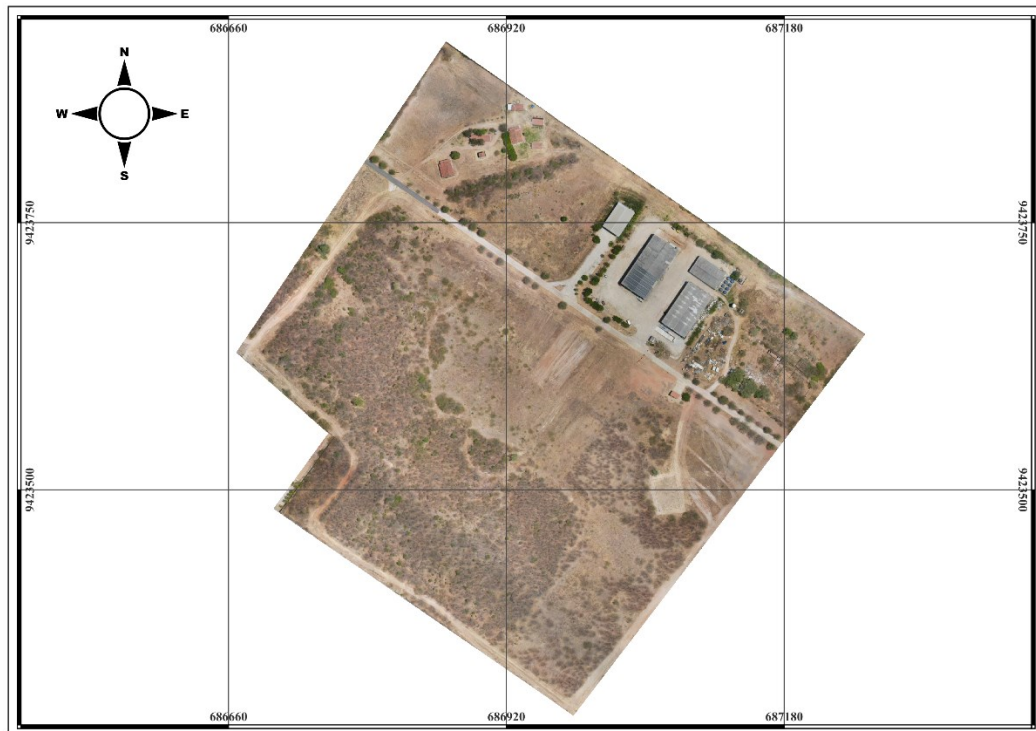
O Mini 3 apresentou um erro total de 1,27 m na ortofoto sem a correção com os pontos de controle (Tabela 14), o que mostra que o produto gerado não possui uma precisão elevada.

Assim como no Mini 2, o cenário é bem diferente na Tabela 15, onde fica notável a redução do erro total, caindo de 1,27 m para 3,72 cm, evidenciando novamente a importância dos pontos de controle, que reduziram o erro em 97,07%.

5.3.3 DJI Mavic Air 2

A Figura 43 mostra a ortofoto gerada pelo Air 2, que, assim como os outros modelos testados, apresentou uma qualidade muito alta, sem distorções e alto nível de detalhes.

Figura 42 – Ortofoto da área de estudo gerada pelo levantamento realizado pelo drone modelo Air 2.



Fonte: Autoria própria (2025).

Tabela 16 – Erros DJI Mavic Air 2 (sem correção).

DJI Mavic Air 2 (sem correção)				
X erro (m)	Y erro (m)	Z erro (m)	XY erro (m)	Erro total (m)
1,41	0,82	2,70	1,41	2,67

Fonte: Autoria própria (2025).

Tabela 17 – Erros DJI Mavic Air 2 (com correção).

DJI Mavic Air 2 (com correção)				
X erro (cm)	Y erro (cm)	Z erro (cm)	XY erro (cm)	Erro total (cm)
3,09	2,93	1,35	4,26	4,47

Fonte: Autoria própria (2025).

O Air 2 apresentou um erro total de 2,67 m na ortofoto sem a correção com os pontos de controle (Tabela 16), o que mostra que o produto gerado não possui uma precisão elevada para trabalhos que exigem muita precisão.

O cenário é bem diferente na Tabela 17, onde fica notável a redução do erro total, caindo de 2,67 m para 4,47 cm, evidenciando novamente a importância dos pontos de controle, que reduziram o erro em 98,33%.

Tabela 18 – Tabela de erros.

Aeronaves	Erro Total (cm)	Erro Total (cm)*
Mini 2	259	15,36
Mini 3	127	3,72
Air 2	267	4,47

Fonte: Autoria própria (2025).

O Mini 2 apresentou o maior erro total sem correção, com 259 cm (2,59 metros). Isso indica uma precisão relativamente baixa para aplicações que exigem alta exatidão. Já quando corrigido, o modelo apresenta o maior erro total, com 15,36 cm. Embora haja uma melhoria significativa em relação aos dados sem correção, ainda é o modelo com menor precisão após a correção.

O Mini 3 apresentou o menor erro total sem correção, com 127 cm (1,27 metros). Isso sugere uma precisão ligeiramente melhor em comparação com os outros modelos, mesmo sem correção. Quando corrigido, apresentou o menor erro total com correção, com 3,72 cm. Isso demonstra a alta precisão do DJI Mini 3 quando corrigido, tornando-o o modelo mais preciso entre os três.

O Air 2 apresentou um erro total de 267 cm (2,67 metros), o que também indica uma precisão relativamente baixa, semelhante ao Mini 2. Quando corrigido com os pontos de controle, apresentou um erro total de 4,47 cm, indicando uma precisão ligeiramente inferior ao DJI Mini 3, mas ainda assim alta.

Demais dados obtidos dos relatórios gerados dos processamentos das imagens podem ser observados no Apêndice.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No geral, os três modelos de drones apresentaram padrões de resultados semelhantes, tendo todos os modelos subestimado as altitudes em relação a referência de precisão (RTK). Ao comparar os modelos com a correção RTK, a imprecisão foi praticamente zerada.

Com relação a precisão e a eficiência dos três modelos de drones (DJI Mini 2, DJI Mini 3 e DJI Mavic Air 2) utilizados em levantamentos topográficos, com e sem correção RTK, a análise dos dados revelou a importância crucial da correção com pontos de controle para a obtenção de resultados precisos.

A correção RTK demonstrou ser um fator determinante na melhoria da precisão dos levantamentos, eliminando o viés e reduzindo a variabilidade nos dados. Todos os modelos testados apresentaram uma melhoria significativa na precisão quando corrigidos com RTK, evidenciando a necessidade dessa tecnologia em aplicações que demandam alta precisão.

Dentre os modelos avaliados, o DJI Mini 3, com a bateria estendida, se destacou pela autonomia de voo e eficiência energética, além de apresentar os menores erros gerais, tanto nos erros de localização da câmera quanto nos erros de pontos de controle (RMSE). Esse resultado o torna uma excelente opção para levantamentos topográficos que exigem alta precisão e longos tempos de voo.

O DJI Mavic Air 2, apesar de apresentar um consumo de bateria maior, também forneceu resultados precisos quando corrigido com RTK. Já o DJI Mini 2, sem correção RTK, apresentou os maiores erros gerais, tornando-o inadequado para aplicações que exigem alta precisão.

Diante dos resultados obtidos, todos os três modelos de drones, quando corrigidos com uma referência de precisão, apresentaram resultados equivalentes, logo a correção RTK é indispensável para trabalhos que exigem maior precisão, e a escolha do modelo de drone ideal deve considerar as necessidades específicas da aplicação, bem como as condições de voo.

Por fim, este estudo contribui para o avanço do conhecimento sobre a utilização de drones em levantamentos topográficos, destacando a importância da correção RTK e da seleção do modelo adequado para cada aplicação, visando otimizar a precisão e a eficiência dos resultados.

REFERÊNCIAS

- AGISOFT LLC. Agisoft Metashape (versão 1.5.1). [Software]. São Petersburgo, Rússia, 2019. Disponível em: <https://www.agisoft.com/>. Acesso em: 12 fev. 2025.
- ALMEIDA, I. D. C.; COSTA, G. C.; SILVA, D. C.; MEDEIROS, J. R. B. **Estudo sobre o uso de Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) para mapeamento aéreo com fins de elaboração de projetos viários**. VI Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, Recife, 2016.
- ANAC - AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL. **Regulamento Brasileiro da Aviação Civil Especial**. 2021. Disponível em: https://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/rbha-e-rbac/rbac/rbac-e-94/@@display-file/arquivo_norma/RBACE94EMD00.pdf. Acesso em: 14 fev. 2025.
- ANTUNES, Alzir Felipe Buffara. **Iniciando em geoprocessamento**. WWW: <http://people.ufpr.br/~felipe/sig.pdf>. Acedido em, v. 17, 2013.
- BUGAEVSKIY, L. M.; SNYDER, J. P. **Map projections: a reference manual**. London: Taylor & Francis, 1995.
- CÂMARA, G. **Anatomia de sistemas de informações geográficas: visão atual e perspectivas de evolução**. In: ASSAD, E., SANO, E., ed. **Sistema de informações geográficas: aplicações na agricultura**. Brasília, DF: Embrapa, 1993.
- CANTERS, F.; STEPHENSON, E.; KHARGOSH, A.; MACKANESS, W. **Map projections for the 21st century**. Cartography and Geographic Information Science, v. 46, n. 1, p. 1-18, 2019.
- COLOMINA, I.; MOLINA, P. **Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review**. ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing, 92, 79-97, 2014.
- DEL RÍO-SANTANA; T. ESPINOZA-FRAIRE; A. SÁENZ-ESQUEDA. et al., **Levantamientos Topográficos con Drones**. In: Revista Ciencia, Ingeniería y Desarrollo Tec Lerdo. 2019.
- DINIZ, Émerson Andrade. **Avaliação de produtos aerofotogramétricos alternativos com câmeras digitais não métricas de pequeno formato em voo apoiado**. São Paulo, 2016. 109 p.
- EISENBEISS, H. **UAV photogrammetry and remote sensing**. ISPRS commission I mid-term symposium. 2009.
- FITZ, P. R.; MOREIRA, I. B.; CÂMARA, G.; DAVIS, C. C. **Cartografia: conceitos e aplicações**. Rio de Janeiro: LTC, 2018.
- FORTUNATO, J.C. **Comparação entre topografia com Drones x topografia tradicional**, Mundogeo, 26/08/2018. Disponível em: <https://mundogeo.com/2018/06/26/artigo->

comparacao-entre-topografia-comdrones-x-topografia-tradicional/. Acesso em 15 fevereiro 2025.

FREITAS, M. B. G. **A aplicação das geotecnologias como apoio à logística**. 2012. Trabalho de Monografia de especialização (Curso de Especialização do Programa de Pós Graduação em Geomática, Área de Concentração em Tecnologia da Geoinformação) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.

GUERRA, Francesco.; PILOT, Luca. **Historic Photoplanes**. In: IAPRS v. XXXIII, Part 5, Amsterdam. CD-ROM, p. 611-617. 2000.

IBGE. (2018). **Manual Técnico de Geomática**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cidades**. Rio de Janeiro: IBGE, 2021.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Informações sobre posicionamento geodésico**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-sobre-posicionamento-geodesico/rede-geodesica.html>. Acesso em: 13 fev. 2025.

INCRA – Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária. **Manual Técnico de Posicionamento: georreferenciamento de imóveis rurais**. Brasília. 3ª Edição. 2013a.

KRAUS, K. **Photogrammetry: geometry from images and laser scans**. Walter de Gruyter, 2007.

LAVOR, Melyssa Sousa de et al. **O uso da fotogrametria com VANT na regularização fundiária urbana: o caso de Salgueiro–PE**. 2022.

LETHAM, L. **GPS Made easy: using global positioning systems in the outdoors**. Seattle: Published by The Mountaineers, 1996. p 112.

MARCOLINO, S. A. **Fotogrametria básica MDT, MNE, MDS e relações com ortofotos e ortofotocartas**. Recife: Decart, 2012. Disponível em: <http://prezi.com/user/hftimoowdkpi/>. Acesso em: 14 fevereiro de 2025.

MEDEIROS, Fabrício Ardaís. **Desenvolvimento de um veículo aéreo não tripulado para aplicação em agricultura de precisão**. 2007. 102 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2007.

MENESES, Paulo Roberto; ALMEIDA, Tati. **Introdução ao processamento de imagens e sensoriamento remoto**. Brasília, 2012.

MIKHAIL, E. M., BETHEL, J. S., & MCGLONE, J. C. **Introduction to modern photogrammetry**. John Wiley & Sons, 2001.

OLIVEIRA, Cêurio de. **Curso de Cartografia Moderna**. Rio de Janeiro- RJ, IBGE, 1988.

ROBINSON, A. H.; MORRISON, J. L.; MUEHRCKE, P. C.; KIMPEL, C. C. **Elements of cartography**. 6. ed. New York: John Wiley & Sons, 1995.

ROCHA, Cezar Henrique Barra. **Geoprocessamento: Tecnologia Transdisciplinar**. Juiz de Fora – MG, Ed. do autor, 2000.

ROSALEN, David Luciano et al. **Caracterização altimétrica através de sensor multiespectral embarcado em aeronave remotamente pilotada**. 2017.

SANTOS, Erivanda Carvalho et al. **Mapeamento da cultura do café na microrregião de Afonso Cláudio–Espírito Santo, com imagens de aerofotogrametria**. XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Curitiba, 2011.

SANTOS, Heberth Ribeiro. **Comparação entre os métodos GPS e imagem de satélite em levantamentos de áreas florestais**. Curitiba, 2012.

TOMLIN, C. D. **Geographic information systems and cartographic modeling**. Prentice-Hall, Inc., 1990.

TURNER, D., LUCIEER, A., & LUCIEER, A. **Development of an unmanned aerial vehicle (UAV) for hyper resolution vineyard mapping based on visible, near infrared, and thermal imagery**. Australian Journal of Grape and Wine Research, 18(1), 73-83, 2012.

TURNER, D., LUCIEER, A., & WALLACE, L. **Direct georeferencing of ultrahigh-resolution multispectral imagery from unmanned aerial vehicles**. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 52(5), 2739-2750, 2014.

VEIGA, Luis Augusto Koenig; ZANETTI, Maria Aparecida Z.; FAGGION, Pedro Luis. **Fundamentos de topografia**. Universidade Federal do Paraná, 2012.

APÊNDICE

Relatório - DJI Mini 2 (sem correção RTK)

Processing Report

24 March 2025



Survey Data

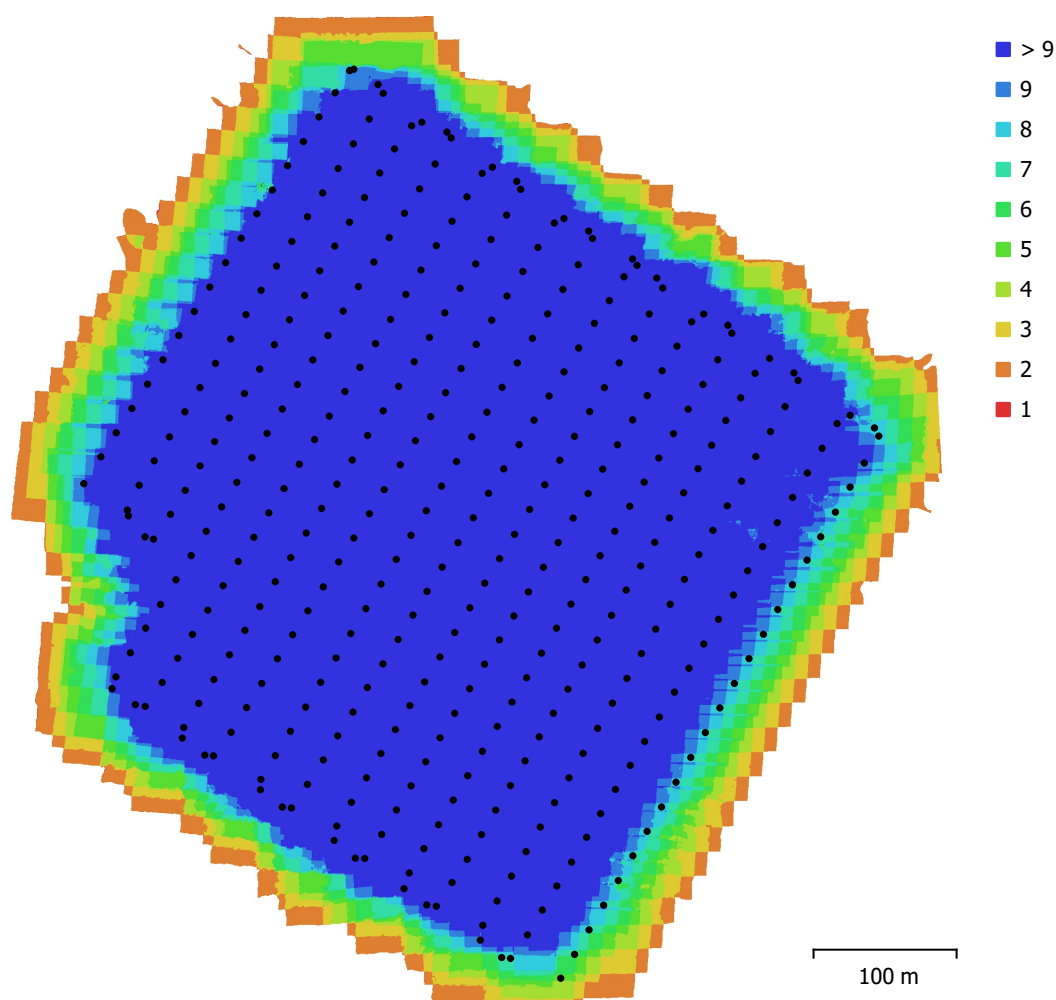


Fig. 1. Camera locations and image overlap.

Number of images:	384	Camera stations:	384
Flying altitude:	85.8 m	Tie points:	101,084
Ground resolution:	2.82 cm/pix	Projections:	329,644
Coverage area:	0.296 km^2	Reprojection error:	2.98 pix

Camera Model	Resolution	Focal Length	Pixel Size	Precalibrated
FC7303 (4.49mm)	4000 x 3000	4.49 mm	1.62 x 1.62 um	Não

Table 1. Cameras.

Calibração da Câmera

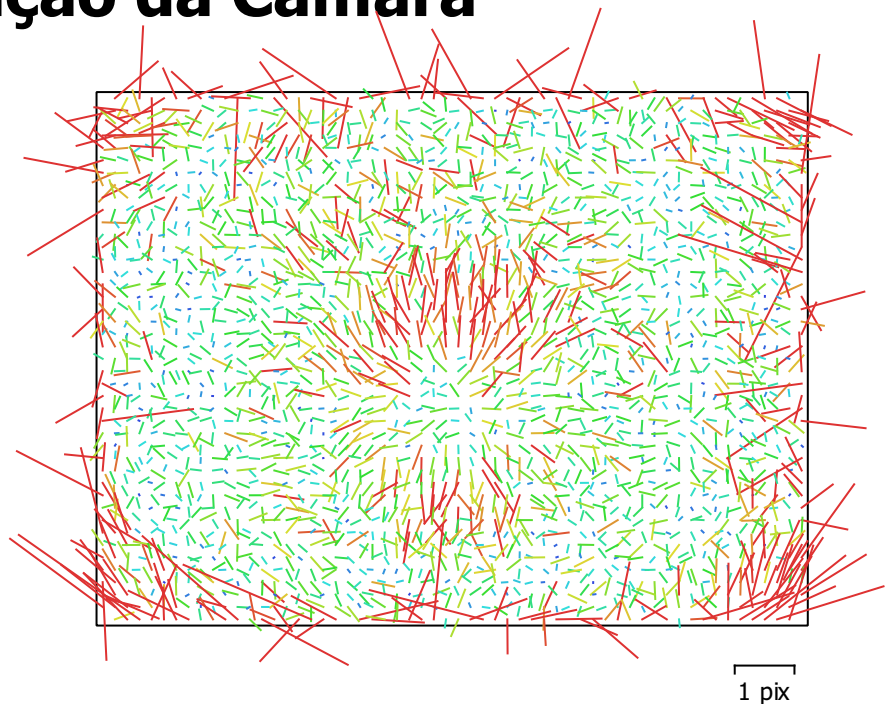


Fig. 2. Image residuals for FC7303 (4.49mm).

FC7303 (4.49mm)

384 images

Type	Resolution	Focal Length	Pixel Size
Frame	4000 x 3000	4.49 mm	1.62 x 1.62 um

	Valor	Error	B2
F	2773.5		
B2	37.8572	0.35	1.00

Table 2. Calibration coefficients and correlation matrix.

Camera Locations

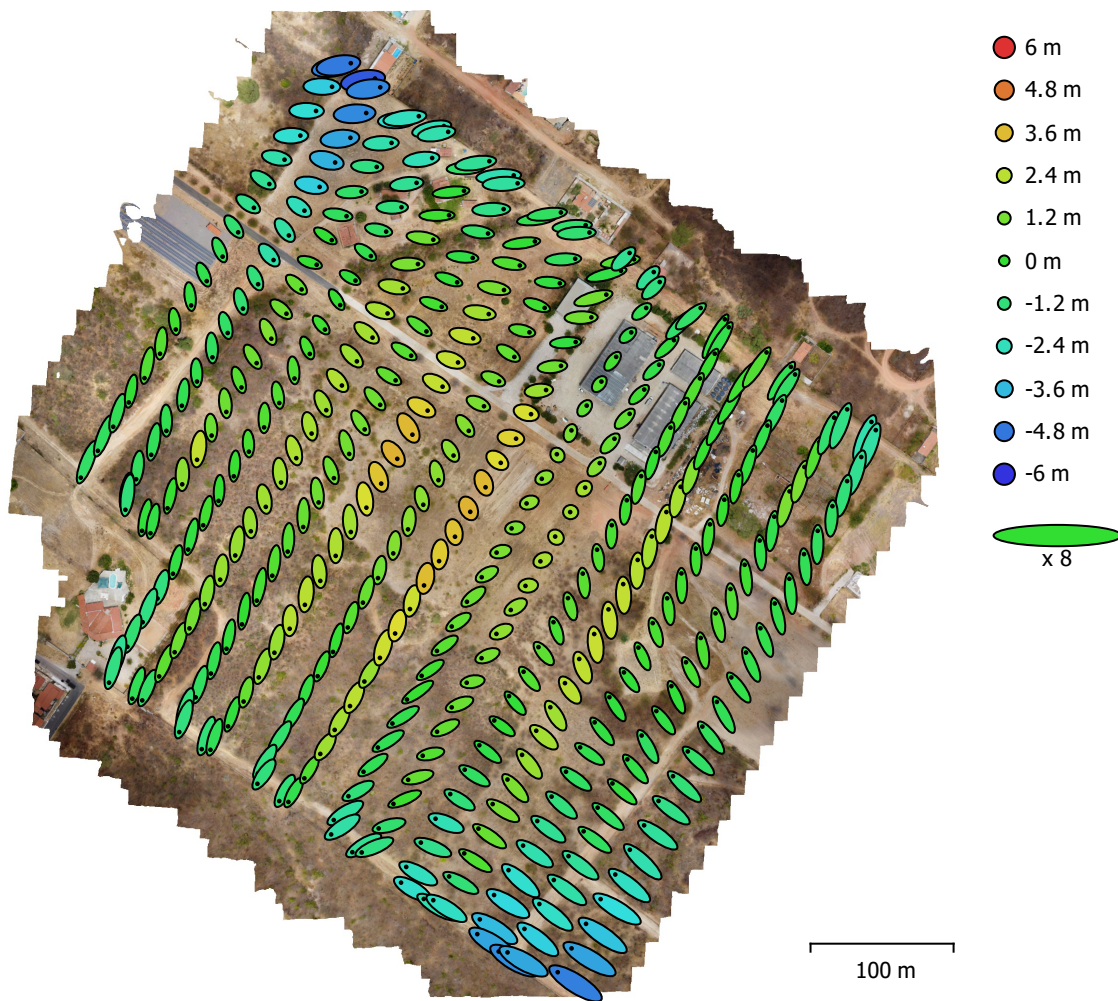


Fig. 3. Camera locations and error estimates.

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)
1.28296	1.51667	1.66605	1.98652	2.59268

Table 3. Average camera location error.

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

Digital Elevation Model

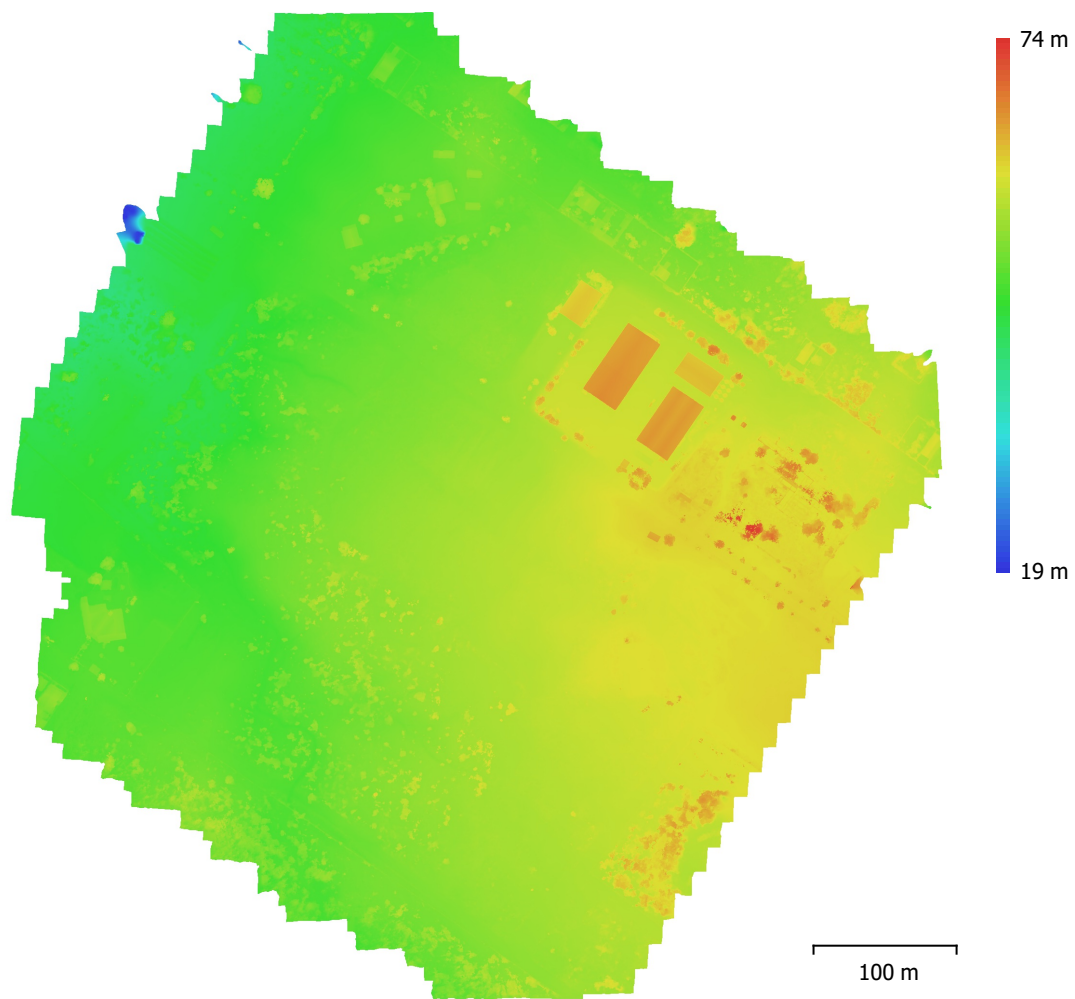


Fig. 4. Reconstructed digital elevation model.

Resolution: 5.65 cm/pix
Point density: 313 points/m²

Processing Parameters

Geral

Câmaras	384
Aligned cameras	384
Coordinate system	SIRGAS 2000 / UTM zone 24S (EPSG::31984)
Rotation angles	Yaw, Pitch, Roll

Nuvem de Pontos

Pontos	101,084 of 108,112
RMS reprojection error	0.173797 (2.97589 pix)
Max reprojection error	0.523311 (62.1788 pix)
Mean key point size	17.1594 pix
Cores dos pontos	3 bands, uint8
Key points	Não
Average tie point multiplicity	3.41595

Parâmetros de alinhamento

Precisão	Baixa
Generic preselection	Sim
Reference preselection	Sim
Key point limit	40,000
Tie point limit	10,000
Adaptive camera model fitting	Sim
Matching time	45 seconds
Alignment time	26 seconds

Mapas de Profundidade

Número	384
--------	-----

Parâmetros de reconstrução

Qualidade	Elevada
Filtering mode	Mild
Tempo de processamento	18 minutes 23 seconds

Dense Point Cloud

Pontos	130,935,462
Cores dos pontos	3 bands, uint8

Parâmetros de reconstrução

Qualidade	Elevada
Depth filtering	Mild
Depth maps generation time	18 minutes 23 seconds
Dense cloud generation time	55 minutes 29 seconds

Modelo

Faces	26,042,422
Vértices	13,029,139
Cores dos vértices	3 bands, uint8
Texture	4,096 x 4,096, 4 bands, uint8

Parâmetros de reconstrução

Surface type	Mapa de alturas / Terreno
Source data	Dense
Interpolation	Enabled
Qualidade	Elevada
Depth filtering	Mild
Número de faces	26,187,078
Tempo de processamento	5 minutes 33 seconds

Parâmetros de texturização

Geral

Modo de mapeamento	Generic
Modo de combinação	Mosaico
Texture size	4,096 x 4,096
Enable hole filling	Sim
Enable ghosting filter	Sim
UV mapping time	5 minutes 21 seconds
Blending time	31 minutes 46 seconds

Tiled Model

Texture	3 bands, uint8
---------	----------------

Parâmetros de reconstrução

Source data	Dense cloud
Tile size	512
Número de faces	Média
Enable ghosting filter	Não
Tempo de processamento	2 hours 10 minutes

DEM

Tamanho	12,720 x 13,601
Coordinate system	SIRGAS 2000 / UTM zone 24S (EPSG::31984)

Parâmetros de reconstrução

Source data	Dense cloud
Interpolation	Enabled
Tempo de processamento	2 minutes 53 seconds

Orthomosaic

Tamanho	23,043 x 24,429
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
Tempo de processamento	7 minutes 21 seconds

Software

Version	1.5.1 build 7618
Platform	Windows 64

Relatório - DJI Mini 2 (com correção RTK)

Processing Report

24 March 2025



Survey Data

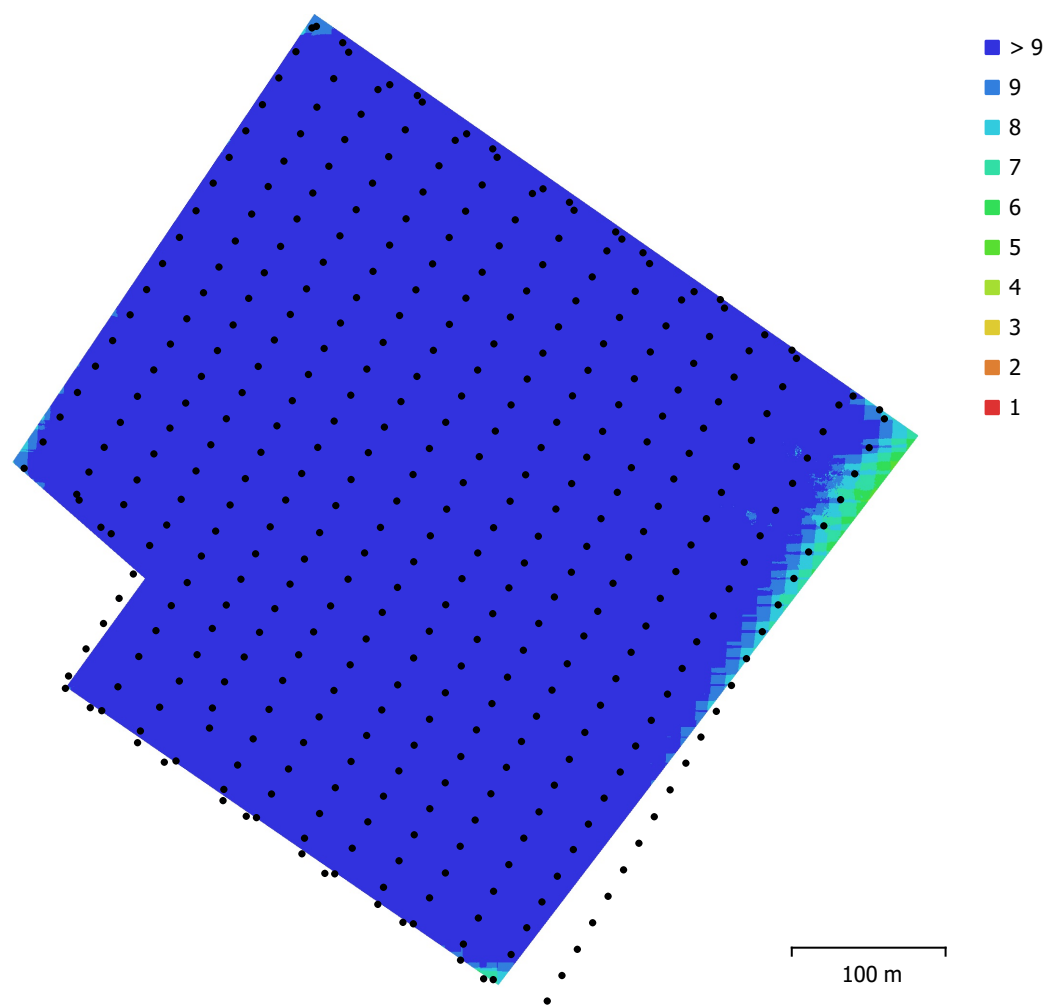


Fig. 1. Camera locations and image overlap.

Number of images:	384	Camera stations:	384
Flying altitude:	75.4 m	Tie points:	101,084
Ground resolution:	2.85 cm/pix	Projections:	329,644
Coverage area:	0.199 km^2	Reprojection error:	6.09 pix

Camera Model	Resolution	Focal Length	Pixel Size	Precalibrated
FC7303 (4.49mm)	4000 x 3000	4.49 mm	1.62 x 1.62 um	Não

Table 1. Cameras.

Calibração da Câmera

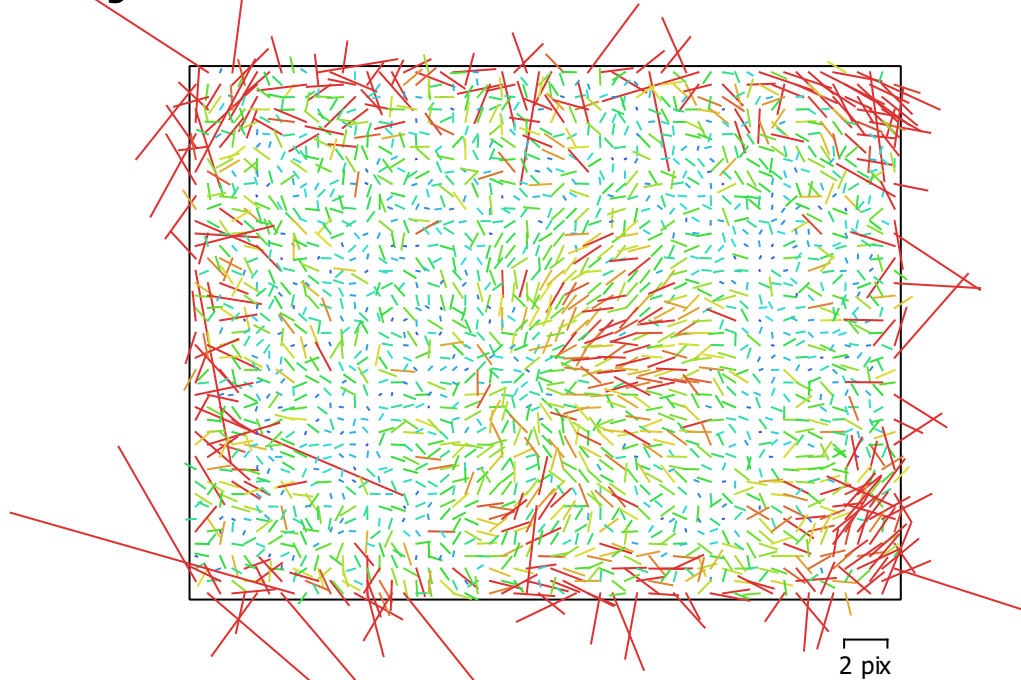


Fig. 2. Image residuals for FC7303 (4.49mm).

FC7303 (4.49mm)

384 images

Type
Frame

Resolution
4000 x 3000

Focal Length
4.49 mm

Pixel Size
1.62 x 1.62 um

	Valor	Error	F	Cx	Cy	B1	B2	K1	K2	K3	K4	P1	P2
F	2325.8	6	1.00	-0.06	-0.06	-0.10	0.01	0.23	-0.34	0.40	-0.43	0.19	-0.06
Cx	-7.41217	2		1.00	0.03	0.47	0.05	-0.05	0.04	-0.05	0.05	0.08	-0.17
Cy	245.194	1.8			1.00	-0.08	0.40	-0.09	0.10	-0.10	0.10	0.00	0.17
B1	-1.00978	0.14				1.00	-0.04	-0.02	0.01	-0.01	0.02	-0.06	-0.17
B2	2.7231	0.13					1.00	-0.05	0.04	-0.04	0.04	0.12	0.11
K1	0.0468189	0.00096						1.00	-0.97	0.93	-0.88	0.02	0.02
K2	-0.125515	0.0036							1.00	-0.99	0.96	-0.03	0.01
K3	0.133027	0.0052								1.00	-0.99	0.04	-0.02
K4	-0.0492291	0.0024									1.00	-0.05	0.03
P1	0.00211577	3.7e-005										1.00	0.12
P2	-0.00015429	2.6e-005											1.00

Table 2. Calibration coefficients and correlation matrix.

Camera Locations

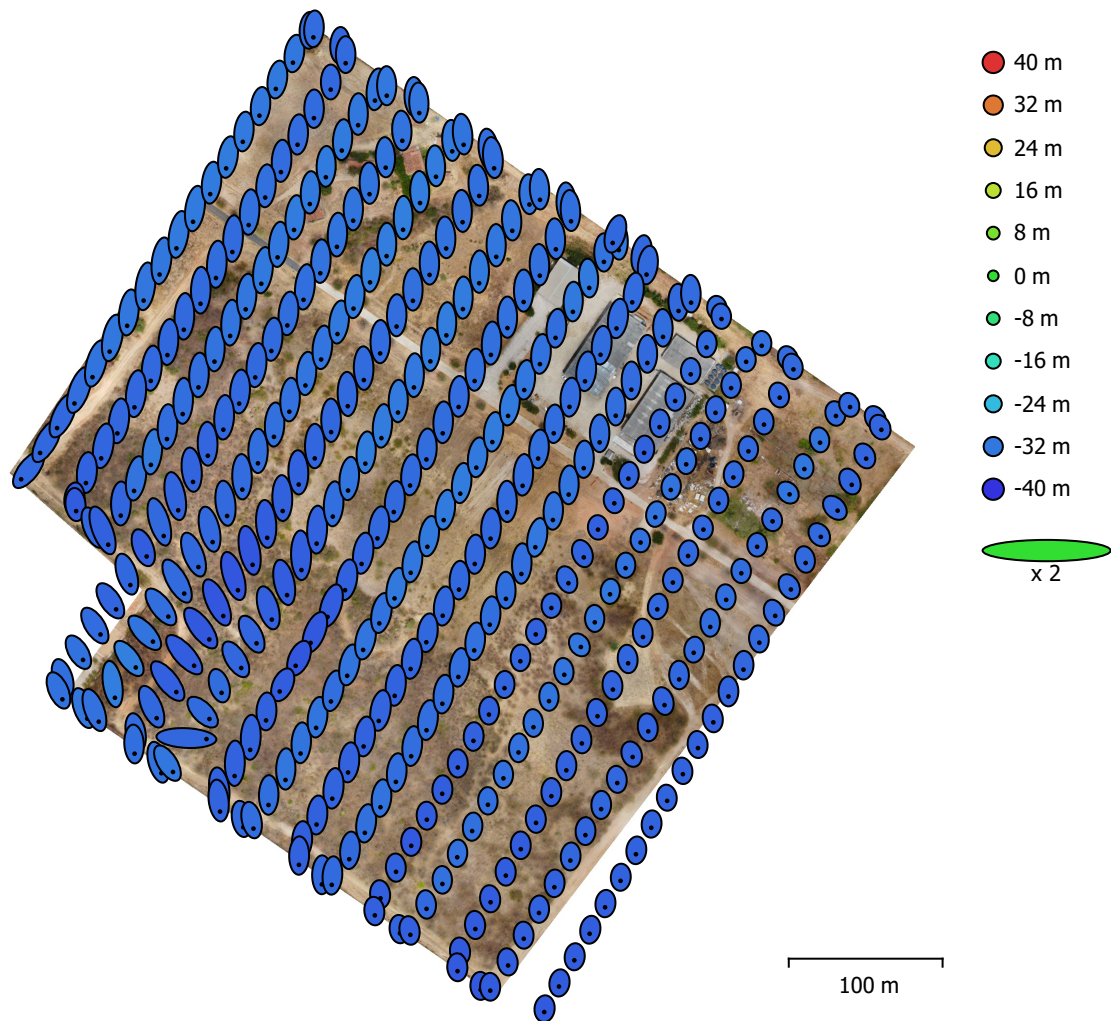


Fig. 3. Camera locations and error estimates.

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)
1.45253	6.05377	33.3289	6.22559	33.9054

Table 3. Average camera location error.

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

Ground Control Points

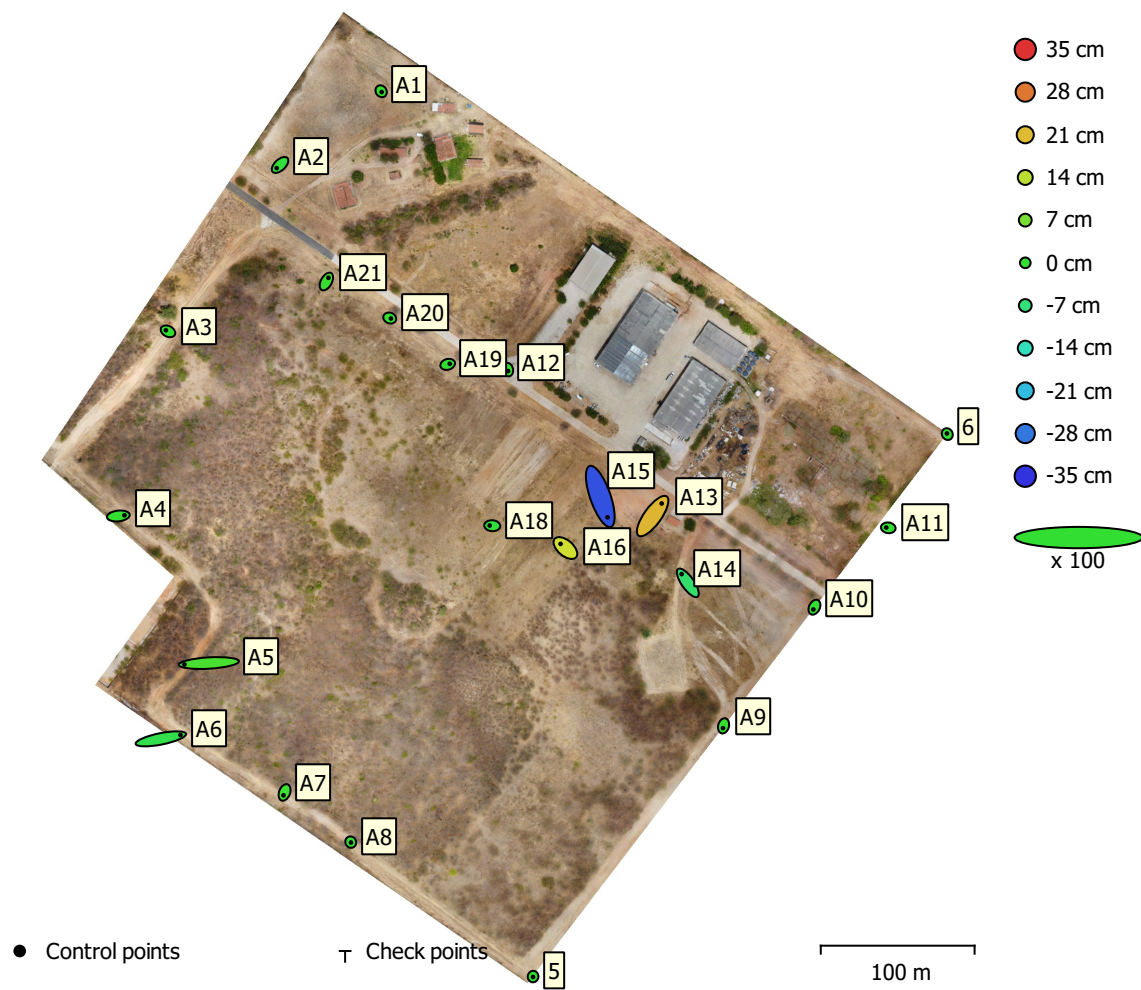


Fig. 4. GCP locations and error estimates.

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)
22	9.82306	7.6155	9.01982	12.4293	15.3573

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)
A1	0.709223	-1.00392	0.075025	1.23146	0.184 (17)
A2	-4.40469	-4.14815	-0.894787	6.1163	0.073 (14)
A3	-2.7348	1.39224	-0.184605	3.07434	0.022 (14)
A5	-31.7802	-1.87856	2.17828	31.9101	0.307 (19)
A6	25.4712	5.08675	-2.51789	26.0959	0.275 (15)
A7	-1.46587	-3.78786	1.17902	4.22927	0.106 (15)
A4	7.90897	0.87938	0.241999	7.96139	0.414 (13)
A8	0.269827	-0.51365	-0.204307	0.615129	0.018 (17)
5	-0.0860999	-0.554688	-0.00645206	0.561367	0.013 (8)
A9	-0.789921	-2.94913	0.375977	3.07615	0.026 (9)
A10	-1.47927	-2.96251	0.277137	3.32288	0.117 (7)
6	-0.448187	0.826949	-0.032614	0.941158	0.025 (7)
A11	-2.5822	0.363699	0.0950527	2.60942	0.057 (6)
A12	0.655284	-1.98344	0.380313	2.12322	0.174 (16)
A13	11.7868	16.3518	21.6706	29.5961	2.008 (16)
A14	-8.05602	11.4259	-5.6086	15.0635	1.147 (15)
A15	9.49648	-27.1529	-31.8239	42.8979	3.360 (18)
A16	-6.2861	5.36537	16.1541	18.1455	1.702 (18)
A18	-3.36927	0.231488	-0.789434	3.46825	0.362 (16)
A19	2.6882	0.79118	-0.221847	2.81098	0.310 (16)
A20	1.57923	-0.599662	0.0930871	1.69182	0.198 (18)
A21	2.68301	4.8367	0.773174	5.58481	0.114 (19)
Total	9.82306	7.6155	9.01982	15.3573	1.059

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

Digital Elevation Model

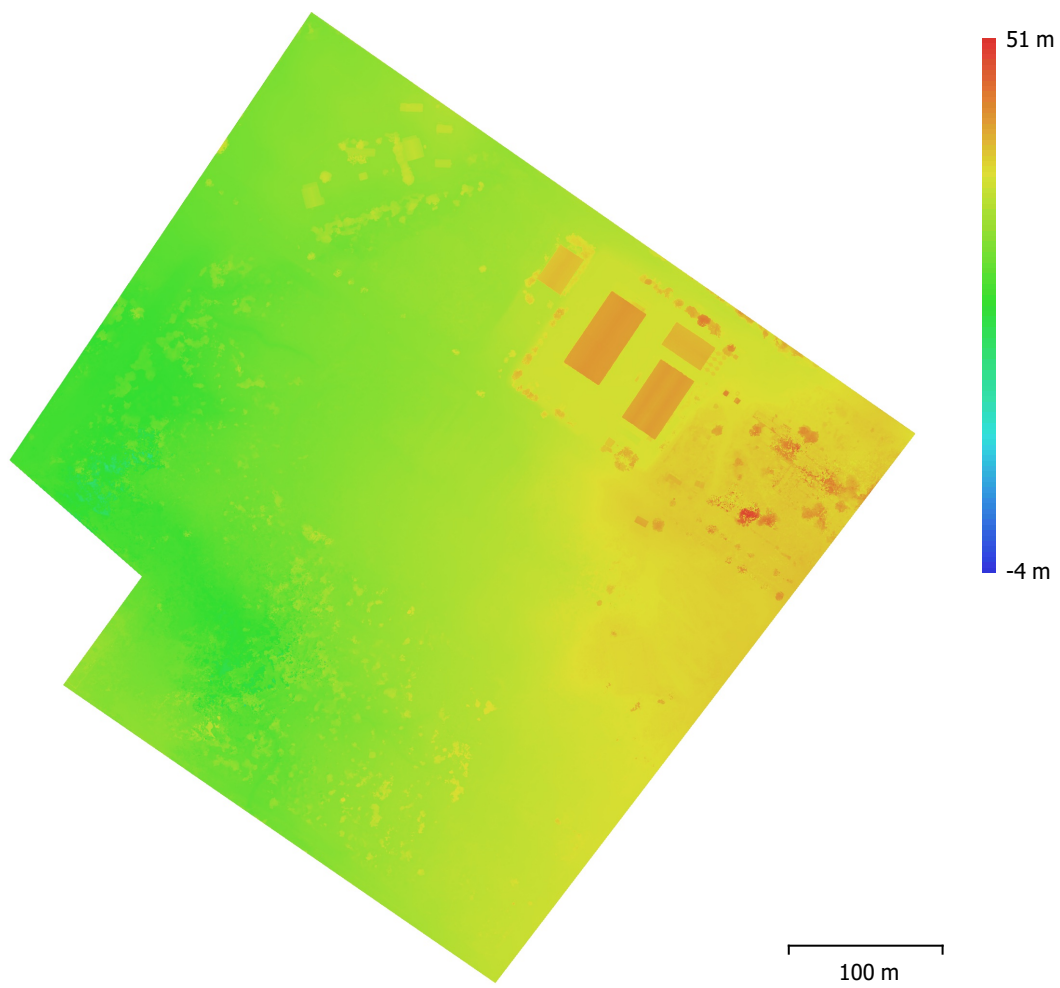


Fig. 5. Reconstructed digital elevation model.

Resolution: 5.7 cm/pix
Point density: 308 points/m²

Processing Parameters

Geral

Câmaras	384
Aligned cameras	384
Marcadores	22

Shapes

Polygons	1
Coordinate system	WGS 84 + EGM96 height
Coordinate system	SIRGAS 2000 / UTM zone 24S (EPSG::31984)
Rotation angles	Yaw, Pitch, Roll

Nuvem de Pontos

Pontos	101,084 of 108,112
RMS reprojection error	0.45977 (6.09412 pix)
Max reprojection error	10.4912 (119.41 pix)
Mean key point size	17.1594 pix
Cores dos pontos	3 bands, uint8
Key points	Não
Average tie point multiplicity	3.41595

Parâmetros de alinhamento

Precisão	Baixa
Generic preselection	Sim
Reference preselection	Sim
Key point limit	40,000
Tie point limit	10,000
Adaptive camera model fitting	Sim
Matching time	47 seconds
Alignment time	24 seconds

Optimization parameters

Parâmetros	f, b1, b2, cx, cy, k1-k4, p1, p2
Adaptive camera model fitting	Não
Optimization time	8 seconds

Mapas de Profundidade

Número	384
--------	-----

Parâmetros de reconstrução

Qualidade	Elevada
Filtering mode	Mild
Tempo de processamento	22 minutes 59 seconds

Dense Point Cloud

Pontos	153,269,763
Cores dos pontos	3 bands, uint8
Parâmetros de reconstrução	
Qualidade	Elevada
Depth filtering	Mild
Depth maps generation time	22 minutes 59 seconds
Dense cloud generation time	49 minutes 27 seconds

Modelo

Faces	30,498,899
Vértices	15,257,964
Cores dos vértices	3 bands, uint8
Texture	4,096 x 4,096, 4 bands, uint8

Parâmetros de reconstrução

Geral

Surface type	Mapa de alturas / Terreno
Source data	Dense
Interpolation	Enabled
Qualidade	Elevada
Depth filtering	Mild
Número de faces	30,653,925
Tempo de processamento	6 minutes 55 seconds

Parâmetros de texturização

Modo de mapeamento	Generic
Modo de combinação	Mosaico
Texture size	4,096 x 4,096
Enable hole filling	Sim
Enable ghosting filter	Sim
UV mapping time	6 minutes 28 seconds
Blending time	35 minutes 4 seconds

Tiled Model

Texture	3 bands, uint8
---------	----------------

Parâmetros de reconstrução

Source data	Dense cloud
Tile size	512
Número de faces	Média
Enable ghosting filter	Não
Tempo de processamento	2 hours 35 minutes

DEM

Tamanho	12,783 x 13,675
Coordinate system	SIRGAS 2000 / UTM zone 24S (EPSG::31984)

Parâmetros de reconstrução

Source data	Dense cloud
Interpolation	Enabled
Tempo de processamento	2 minutes 45 seconds

Orthomosaic

Tamanho	23,071 x 24,369
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
Tempo de processamento	7 minutes 46 seconds

Software

Version	1.5.1 build 7618
Platform	Windows 64

Relatório - DJI Mini 3 (sem correção RTK)

Processing Report

24 March 2025



Survey Data

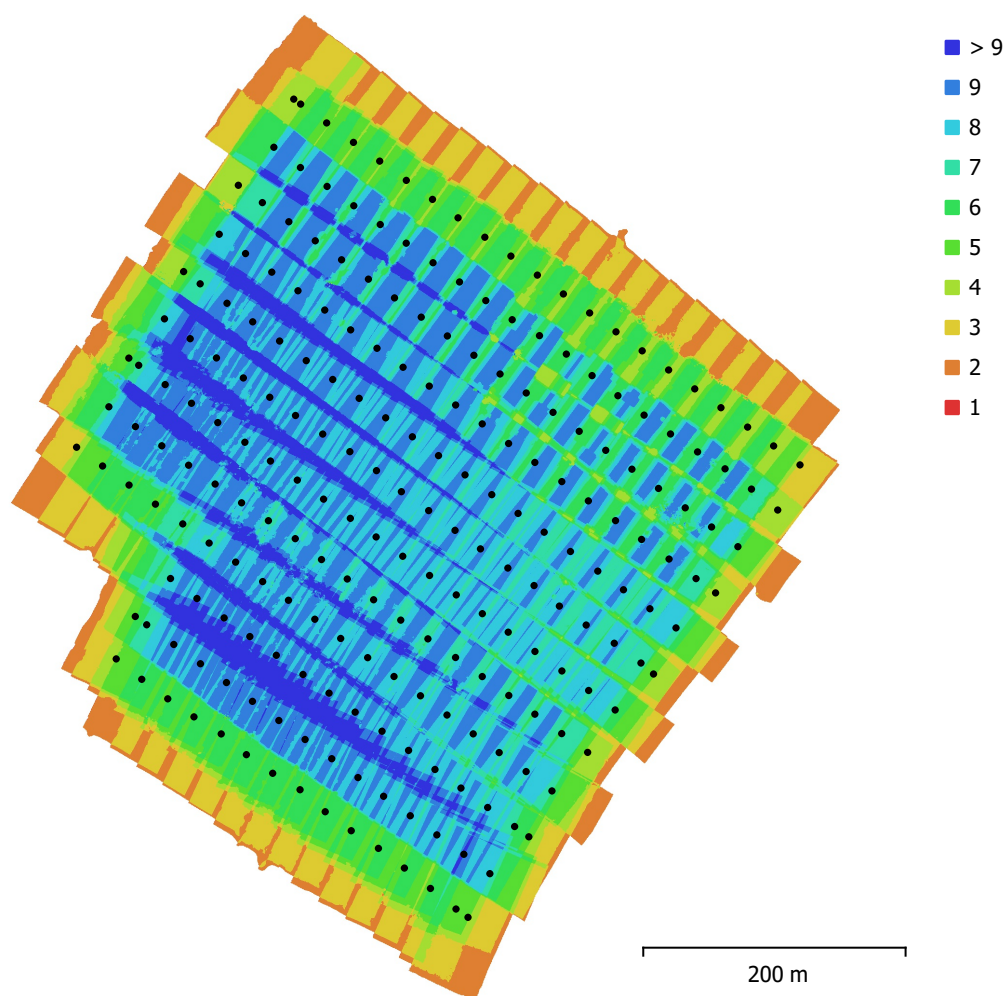


Fig. 1. Camera locations and image overlap.

Number of images:	224	Camera stations:	224
Flying altitude:	97.7 m	Tie points:	233,622
Ground resolution:	3.04 cm/pix	Projections:	664,761
Coverage area:	0.269 km^2	Reprojection error:	0.841 pix

Camera Model	Resolution	Focal Length	Pixel Size	Precalibrated
FC3682 (6.72mm)	4000 x 2250	6.72 mm	2.64 x 2.64 um	Não

Table 1. Cameras.

Calibração da Câmera

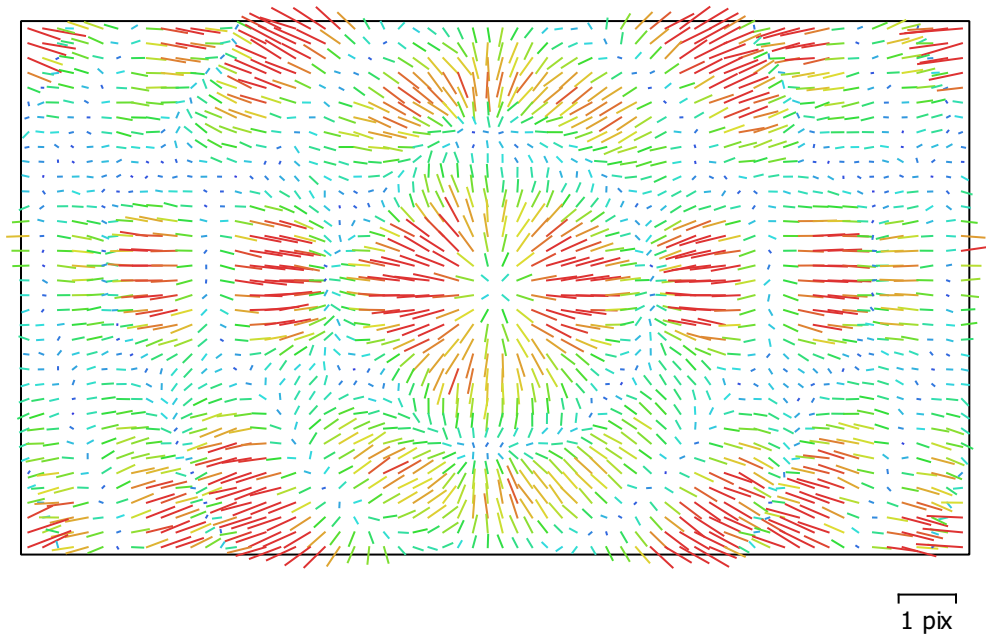


Fig. 2. Image residuals for FC3682 (6.72mm).

FC3682 (6.72mm)

224 images

Type
Frame

Resolution
4000 x 2250

Focal Length
6.72 mm

Pixel Size
2.64 x 2.64 um

	Valor	Error	F	Cx	Cy	K1	K2	K3	P1	P2
F	2982.08	1.6	1.00	-0.20	-0.92	0.74	-0.86	0.86	-0.23	-0.57
Cx	-26.2891	0.12		1.00	0.19	-0.16	0.19	-0.19	0.42	0.13
Cy	-32.6551	0.25			1.00	-0.70	0.79	-0.79	0.23	0.59
K1	0.133996	0.00036				1.00	-0.79	0.78	-0.40	-0.92
K2	-0.286434	0.00071					1.00	-1.00	0.25	0.53
K3	0.230036	0.00086						1.00	-0.25	-0.53
P1	-0.00032312	7.2e-006							1.00	0.40
P2	-0.000354858	2.4e-005								1.00

Table 2. Calibration coefficients and correlation matrix.

Camera Locations

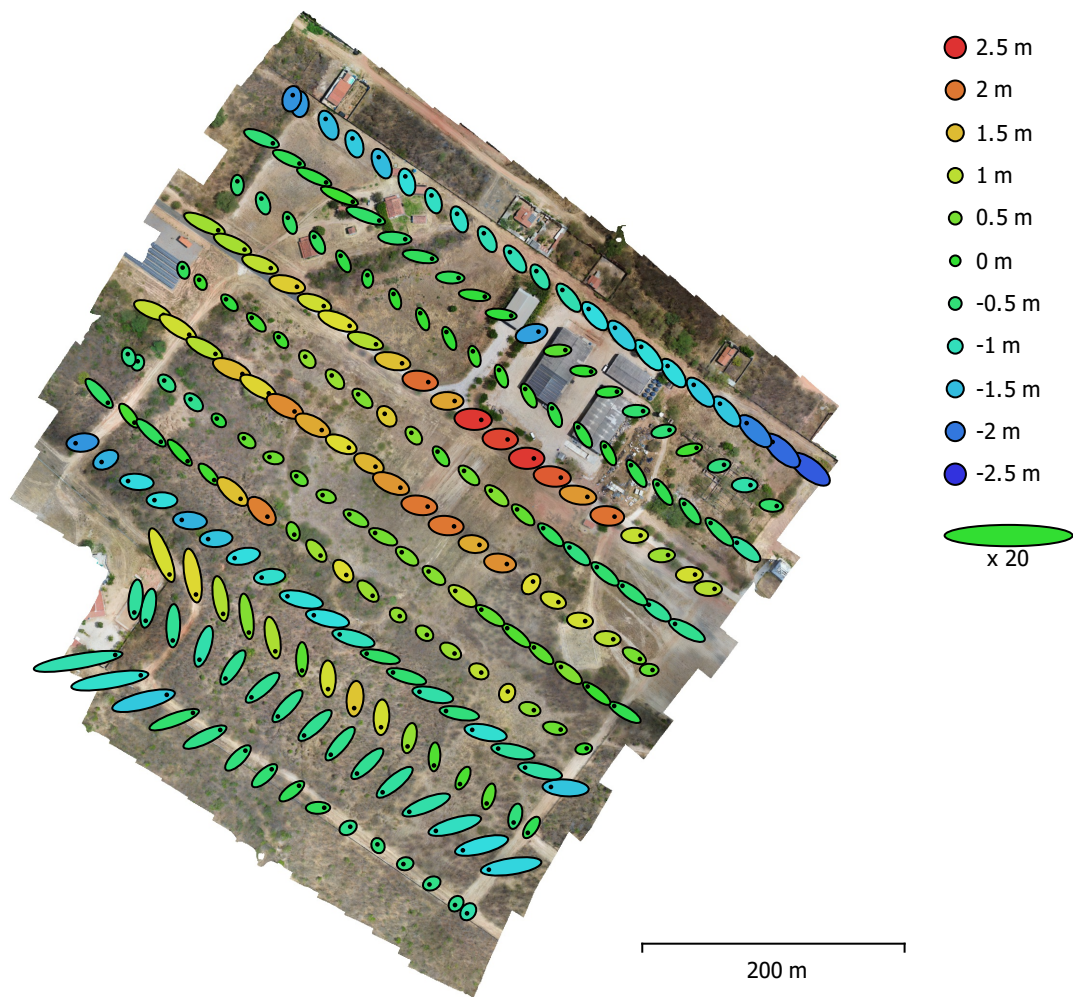


Fig. 3. Camera locations and error estimates.

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)
0.648665	0.451054	0.998085	0.790074	1.27295

Table 3. Average camera location error.

X - Longitude, Y - Latitude, Z - Altitude.

Digital Elevation Model

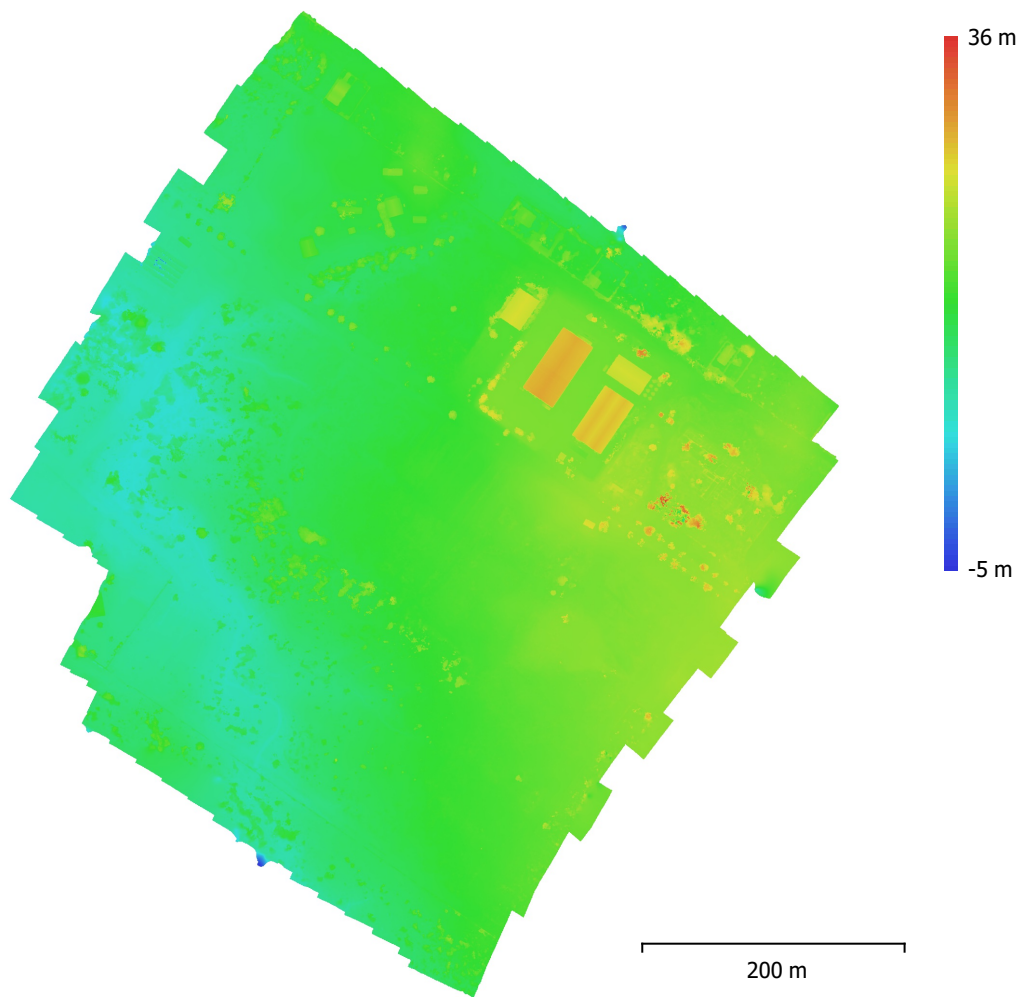


Fig. 4. Reconstructed digital elevation model.

Resolution: 6.08 cm/pix
Point density: 270 points/m²

Processing Parameters

Geral

Câmaras	224
Aligned cameras	224
Coordinate system	WGS 84 (EPSG::4326)
Rotation angles	Yaw, Pitch, Roll

Nuvem de Pontos

Pontos	233,622 of 238,224
RMS reprojection error	0.181826 (0.840865 pix)
Max reprojection error	0.545513 (31.6827 pix)
Mean key point size	4.76958 pix
Cores dos pontos	3 bands, uint8
Key points	Não
Average tie point multiplicity	2.87601

Parâmetros de alinhamento

Precisão	Elevada
Generic preselection	Sim
Reference preselection	Sim
Key point limit	40,000
Tie point limit	4,000
Adaptive camera model fitting	Não
Matching time	1 minutes 21 seconds
Alignment time	1 minutes 14 seconds

Mapas de Profundidade

Número	224
--------	-----

Parâmetros de reconstrução

Qualidade	Elevada
Filtering mode	Mild
Tempo de processamento	4 minutes 29 seconds

Dense Point Cloud

Pontos	92,525,583
Cores dos pontos	3 bands, uint8

Parâmetros de reconstrução

Qualidade	Elevada
Depth filtering	Mild
Depth maps generation time	4 minutes 29 seconds
Dense cloud generation time	11 minutes 38 seconds

Modelo

Faces	6,123,680
Vértices	3,066,816
Cores dos vértices	3 bands, uint8
Texture	4,096 x 4,096, 4 bands, uint8

Parâmetros de reconstrução

Surface type	Mapa de alturas / Terreno
Source data	Dense
Interpolation	Enabled
Qualidade	Elevada
Depth filtering	Mild
Número de faces	6,168,372
Tempo de processamento	2 minutes 6 seconds

Parâmetros de texturização

Geral

Modo de mapeamento	Generic
Modo de combinação	Mosaico
Texture size	4,096 x 4,096
Enable hole filling	Sim
Enable ghosting filter	Sim
UV mapping time	2 minutes 11 seconds
Blending time	7 minutes 3 seconds

Tiled Model

Texture	3 bands, uint8
---------	----------------

Parâmetros de reconstrução

Source data	Dense cloud
Tile size	512
Número de faces	Média
Enable ghosting filter	Não
Tempo de processamento	1 hours 25 minutes

DEM

Tamanho	15,418 x 16,128
Coordinate system	WGS 84 (EPSG::4326)

Parâmetros de reconstrução

Source data	Dense cloud
Interpolation	Enabled
Tempo de processamento	1 minutes 32 seconds

Orthomosaic

Tamanho	20,806 x 24,742
Coordinate system	WGS 84 (EPSG::4326)
Colors	3 bands, uint8

Parâmetros de reconstrução

Modo de combinação	Mosaico
Surface	DEM
Enable hole filling	Sim
Tempo de processamento	3 minutes 44 seconds

Software

Version	1.5.1 build 7618
Platform	Windows 64

Relatório - DJI Mini 3 (com correção RTK)

Processing Report

24 March 2025



Survey Data

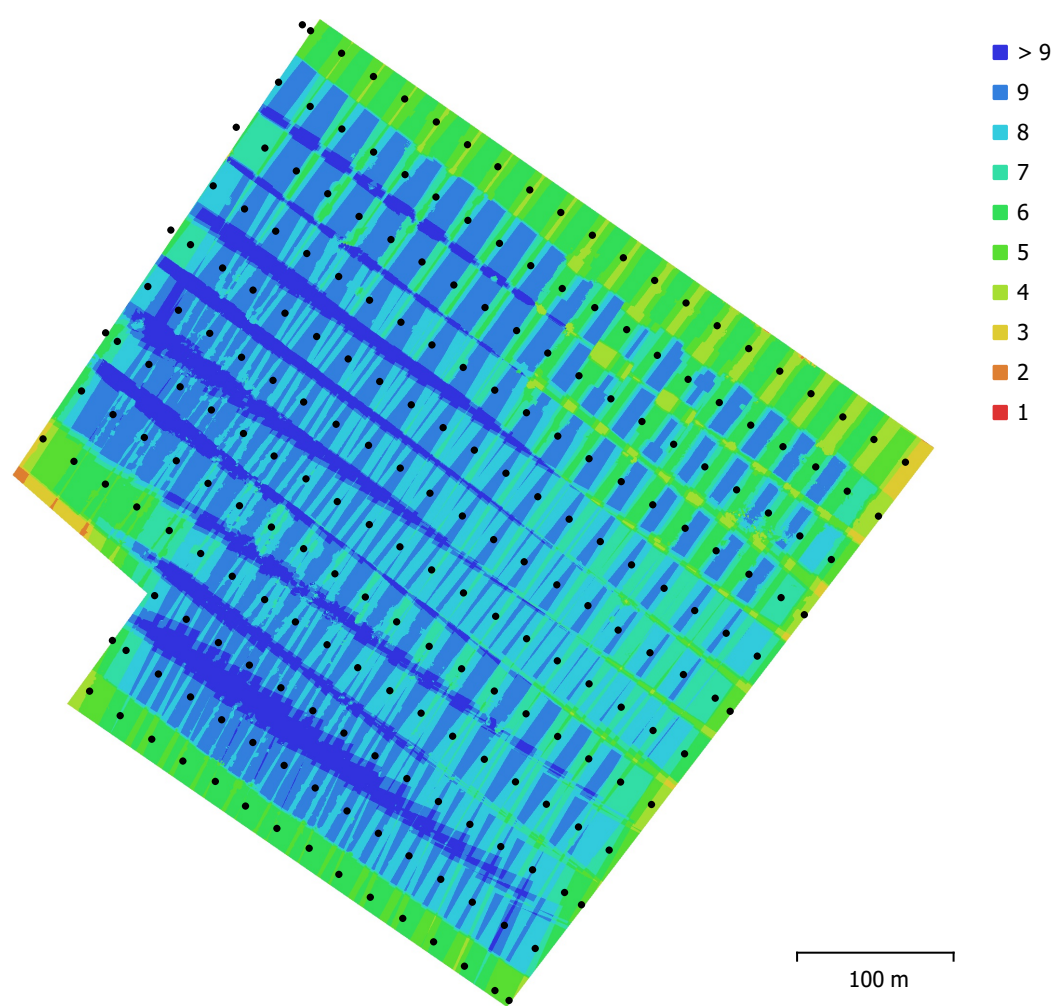


Fig. 1. Camera locations and image overlap.

Number of images:	224	Camera stations:	224
Flying altitude:	92.8 m	Tie points:	372,023
Ground resolution:	3.05 cm/pix	Projections:	1,062,314
Coverage area:	0.199 km^2	Reprojection error:	0.833 pix

Camera Model	Resolution	Focal Length	Pixel Size	Precalibrated
FC3682 (6.72mm)	4000 x 2250	6.72 mm	2.64 x 2.64 um	Não

Table 1. Cameras.

Calibração da Câmera

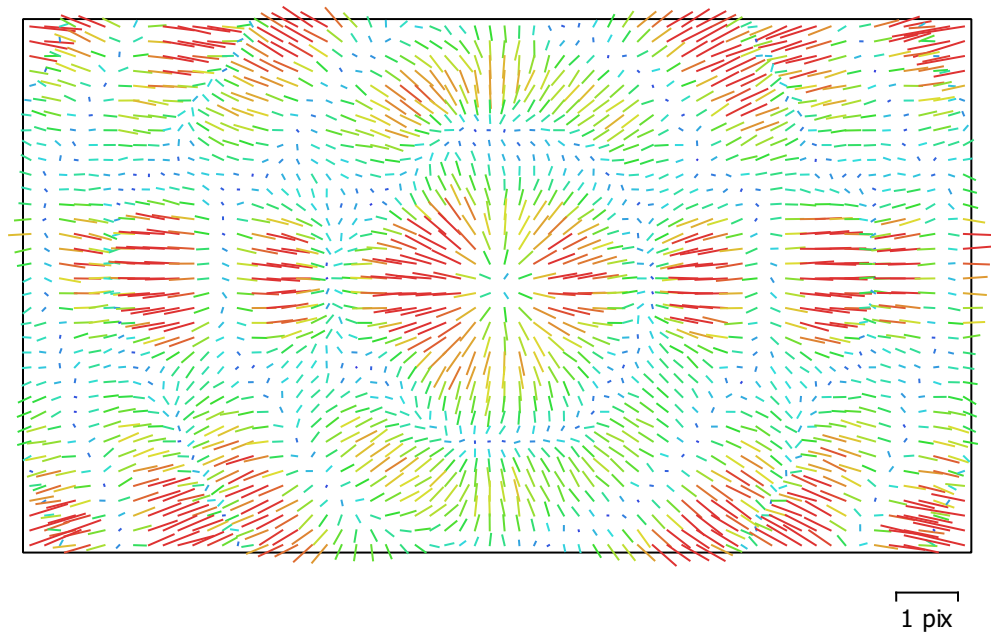


Fig. 2. Image residuals for FC3682 (6.72mm).

FC3682 (6.72mm)

224 images

Type
Frame

Resolution
4000 x 2250

Focal Length
6.72 mm

Pixel Size
2.64 x 2.64 um

	Valor	Error	F	Cx	Cy	B1	B2	K1	K2	K3	K4	P1	P2	P3	P4
F	2797.86	1.2	1.00	-0.24	-0.91	0.27	-0.04	0.67	-0.57	0.47	-0.38	-0.16	-0.71	0.01	-0.12
Cx	-18.1987	0.11		1.00	0.24	-0.07	0.42	-0.17	0.15	-0.12	0.10	0.48	0.24	-0.07	0.12
Cy	1.13878	0.23			1.00	-0.42	0.04	-0.62	0.53	-0.44	0.35	0.17	0.83	-0.03	0.15
B1	-4.57989	0.02				1.00	-0.02	0.18	-0.16	0.13	-0.11	-0.04	-0.35	0.06	-0.09
B2	1.06858	0.018					1.00	-0.03	0.02	-0.02	0.01	0.12	0.04	0.00	0.01
K1	0.129381	0.00017						1.00	-0.98	0.92	-0.86	-0.13	-0.48	0.00	-0.08
K2	-0.315508	0.00094							1.00	-0.98	0.95	0.13	0.41	-0.01	0.07
K3	0.386004	0.0021								1.00	-0.99	-0.12	-0.34	0.01	-0.06
K4	-0.181746	0.0016									1.00	0.11	0.27	-0.00	0.05
P1	0.000411549	1e-005										1.00	0.26	-0.29	0.34
P2	0.00131502	1.4e-005											1.00	-0.31	0.41
P3	-2.03174	0.017												1.00	-0.98
P4	1.23276	0.031													1.00

Table 2. Calibration coefficients and correlation matrix.

Camera Locations

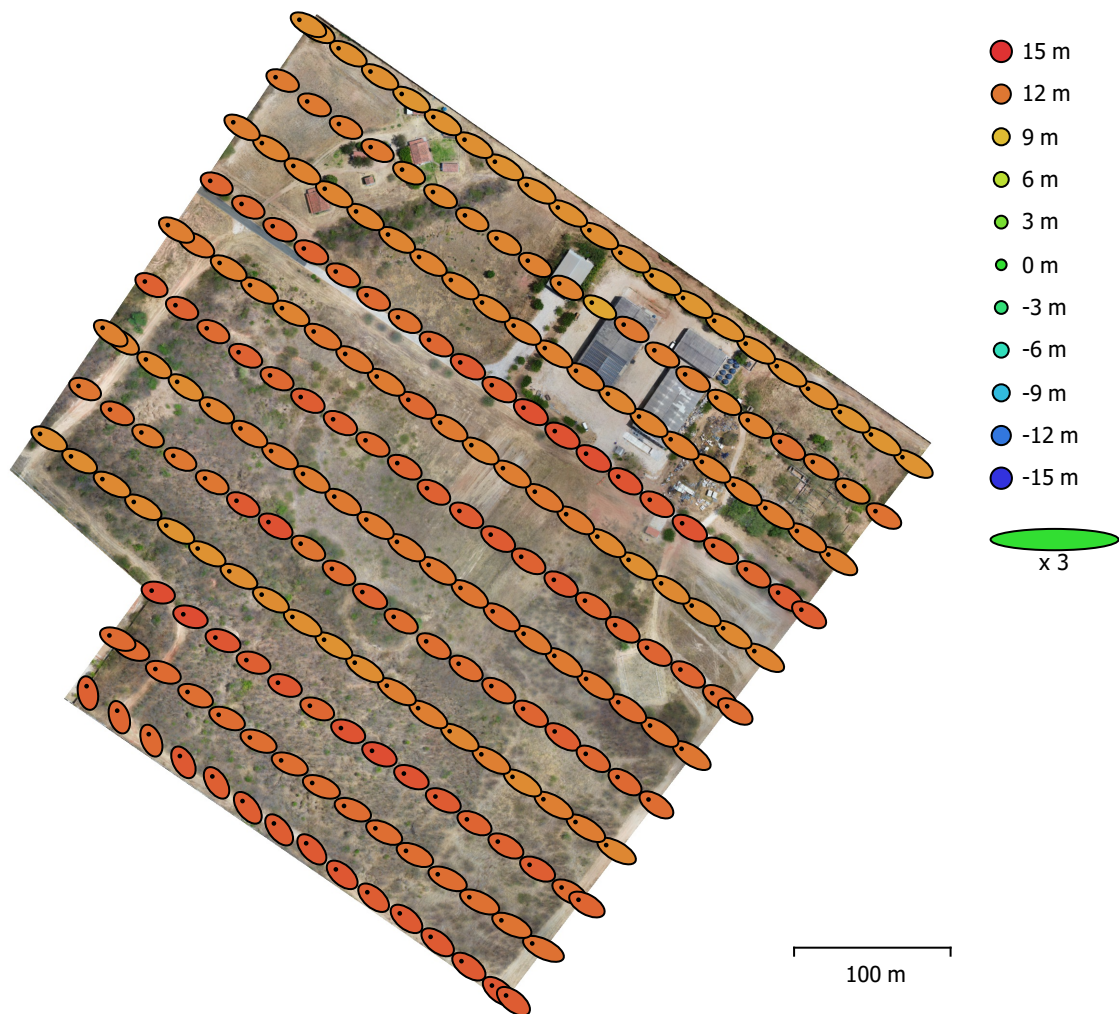


Fig. 3. Camera locations and error estimates.

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)
3.64857	2.20562	12.1115	4.26343	12.84

Table 3. Average camera location error.

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

Ground Control Points

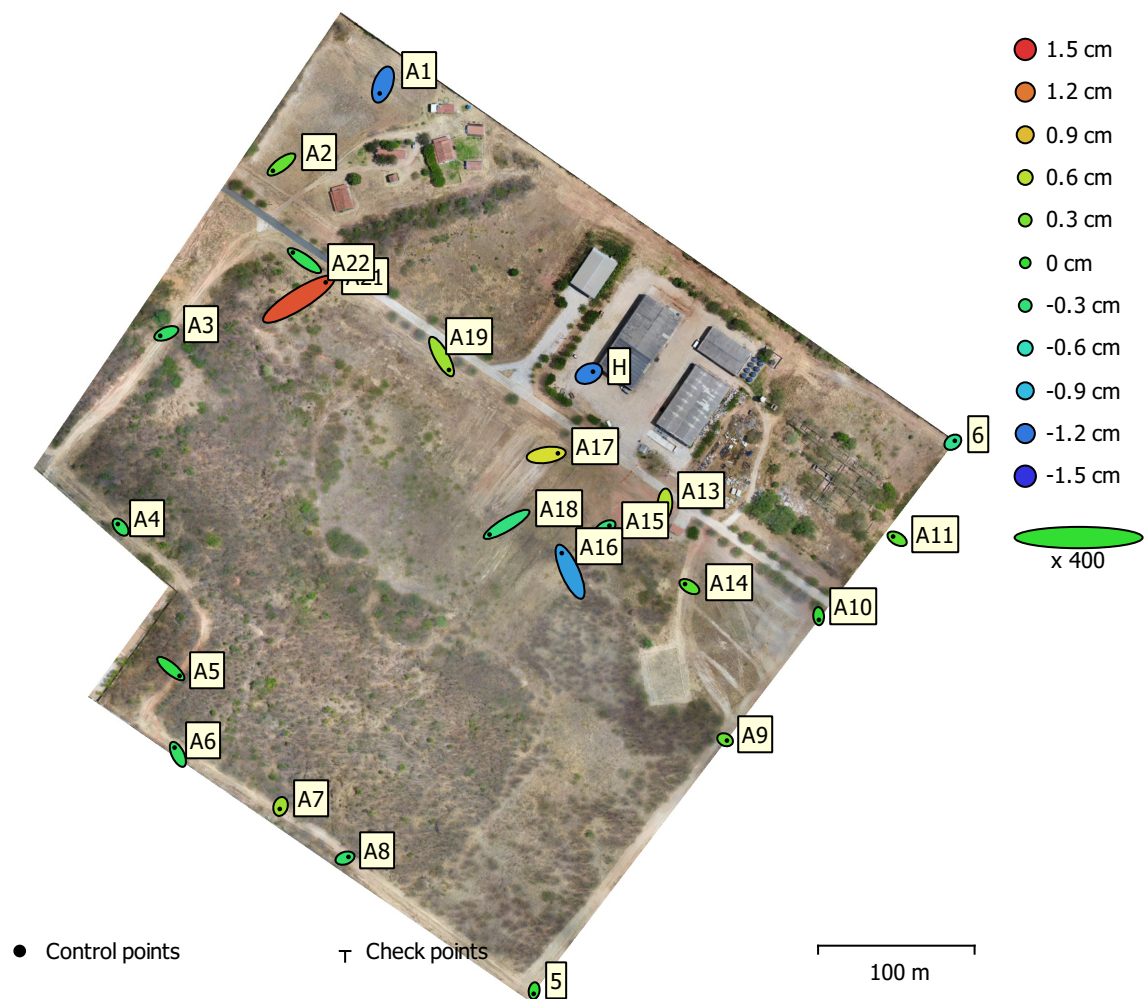


Fig. 4. GCP locations and error estimates.

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)
23	2.75681	2.42959	0.575592	3.67463	3.71943

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)
A1	-1.0484	-2.83962	-1.15522	3.23993	0.137 (4)
A2	-2.72835	-2.01857	0.220577	3.40106	0.332 (10)
A3	-1.97574	-0.776793	-0.206467	2.13298	0.298 (9)
A5	2.79392	-2.31333	-0.0949473	3.62857	0.288 (8)
A6	-1.05258	2.16372	-0.211241	2.41542	0.215 (6)
A7	-0.247766	-0.803019	0.478144	0.966876	0.047 (6)
A4	-0.854688	0.990627	-0.186849	1.32165	0.104 (4)
A8	1.10717	0.377922	-0.234926	1.19325	0.104 (6)
5	-0.142741	-0.973638	-0.019515	0.984239	0.180 (4)
A9	0.589581	-0.264076	0.227371	0.684865	0.173 (5)
A10	0.0827386	-1.18348	-0.0047902	1.18638	0.170 (4)
6	0.640908	0.458999	-0.403286	0.885485	0.048 (3)
A11	-1.2803	0.72252	0.174872	1.48047	0.118 (3)
A13	-0.163581	-2.62704	0.568406	2.69281	0.306 (8)
A14	-1.40416	0.833992	0.167777	1.64175	0.287 (8)
A15	1.42814	0.86921	-0.321914	1.70257	0.347 (8)
A16	-2.64442	5.94211	-1.03254	6.58542	0.193 (8)
A17	3.74025	0.526491	0.71668	3.84452	0.448 (10)
A18	-5.4552	-3.24115	-0.327766	6.35387	0.312 (8)
A19	2.37738	-4.27084	0.466147	4.91012	0.189 (12)
A21	8.55538	5.32219	1.36381	10.1676	0.297 (11)
A22	-3.68739	2.58761	-0.157561	4.50749	0.287 (12)
H	1.33186	0.605749	-1.1543	1.86365	0.502 (9)
Total	2.75681	2.42959	0.575592	3.71943	0.286

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

Digital Elevation Model

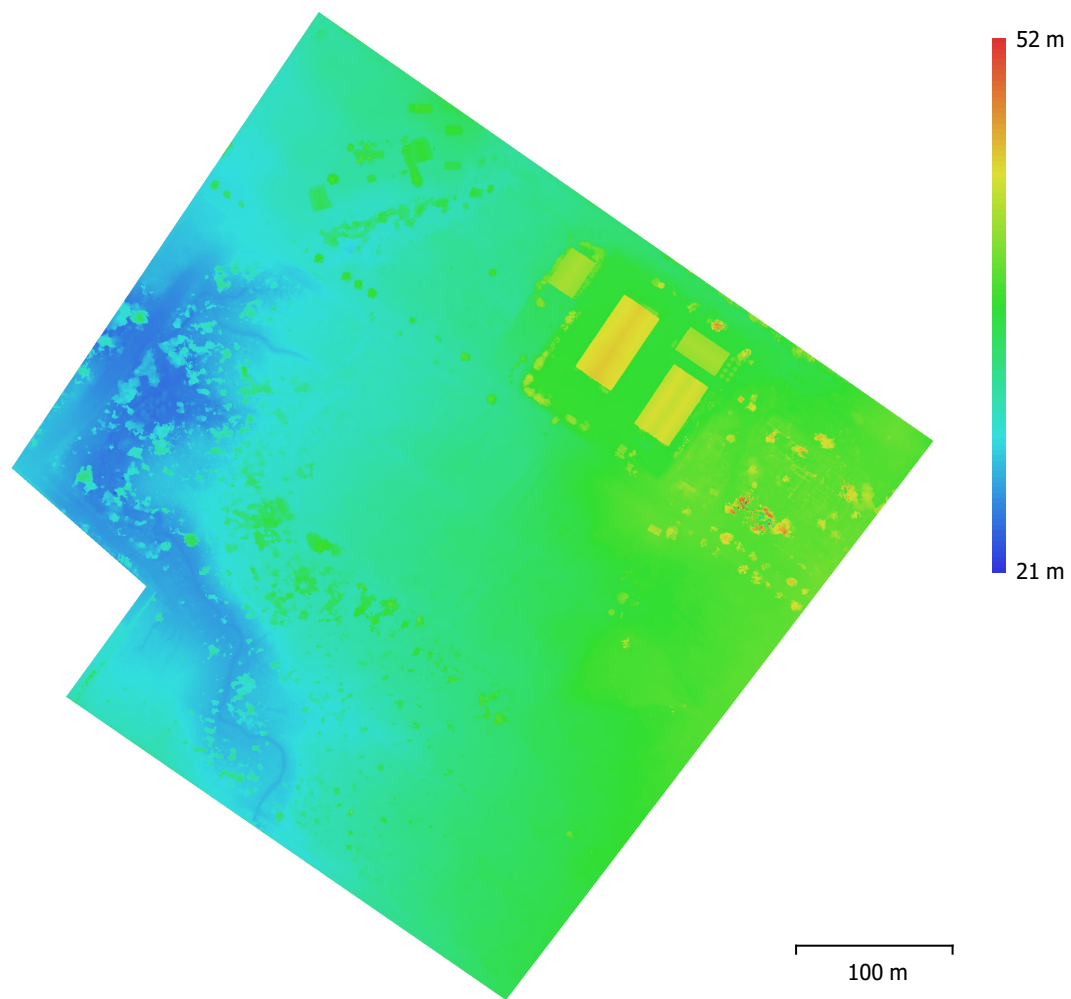


Fig. 5. Reconstructed digital elevation model.

Resolution: 6.1 cm/pix
Point density: 269 points/m²

Processing Parameters

Geral

Câmaras	224
Aligned cameras	224
Marcadores	23

Shapes

Polygons	1
Coordinate system	WGS 84 + EGM96 height
Coordinate system	SIRGAS 2000 / UTM zone 24S (EPSG::31984)
Rotation angles	Yaw, Pitch, Roll

Nuvem de Pontos

Pontos	372,023 of 381,495
RMS reprojection error	0.185078 (0.833258 pix)
Max reprojection error	1.16627 (31.6199 pix)
Mean key point size	4.65584 pix
Cores dos pontos	3 bands, uint8
Key points	Não
Average tie point multiplicity	2.89558

Parâmetros de alinhamento

Precisão	Elevada
Generic preselection	Não
Reference preselection	Sim
Key point limit	40,000
Tie point limit	10,000
Adaptive camera model fitting	Sim
Matching time	7 minutes 33 seconds
Alignment time	2 minutes 12 seconds

Optimization parameters

Parâmetros	f, b1, b2, cx, cy, k1-k4, p1- p4
Adaptive camera model fitting	Não
Optimization time	14 seconds

Mapas de Profundidade

Número	224
--------	-----

Parâmetros de reconstrução

Qualidade	Elevada
Filtering mode	Mild
Tempo de processamento	5 minutes 32 seconds

Dense Point Cloud

Pontos	91,737,131
Cores dos pontos	3 bands, uint8
Parâmetros de reconstrução	
Qualidade	Elevada
Depth filtering	Mild
Depth maps generation time	5 minutes 32 seconds
Dense cloud generation time	10 minutes 23 seconds

Modelo

Faces	18,231,069
Vértices	9,122,909
Cores dos vértices	3 bands, uint8
Texture	4,096 x 4,096, 4 bands, uint8

Parâmetros de reconstrução

Geral

Surface type	Mapa de alturas / Terreno
Source data	Dense
Interpolation	Enabled
Qualidade	Elevada
Depth filtering	Mild
Número de faces	18,347,421
Tempo de processamento	4 minutes 18 seconds

Parâmetros de texturização

Modo de mapeamento	Generic
Modo de combinação	Mosaico
Texture size	4,096 x 4,096
Enable hole filling	Sim
Enable ghosting filter	Sim
UV mapping time	4 minutes 19 seconds
Blending time	12 minutes 17 seconds

Tiled Model

Texture	3 bands, uint8
---------	----------------

Parâmetros de reconstrução

Source data	Dense cloud
Tile size	512
Número de faces	Média
Enable ghosting filter	Não
Tempo de processamento	1 hours 30 minutes

DEM

Tamanho	15,547 x 16,193
Coordinate system	SIRGAS 2000 / UTM zone 24S (EPSG::31984)

Parâmetros de reconstrução

Source data	Dense cloud
Interpolation	Enabled
Tempo de processamento	2 minutes 19 seconds

Orthomosaic

Tamanho	20,826 x 24,784
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
Tempo de processamento	3 minutes 46 seconds

Software

Version	1.5.1 build 7618
Platform	Windows 64

Relatório - DJI Mavic Airi 2 (sem correção RTK)

**Processing Report
24 March 2025**



Survey Data

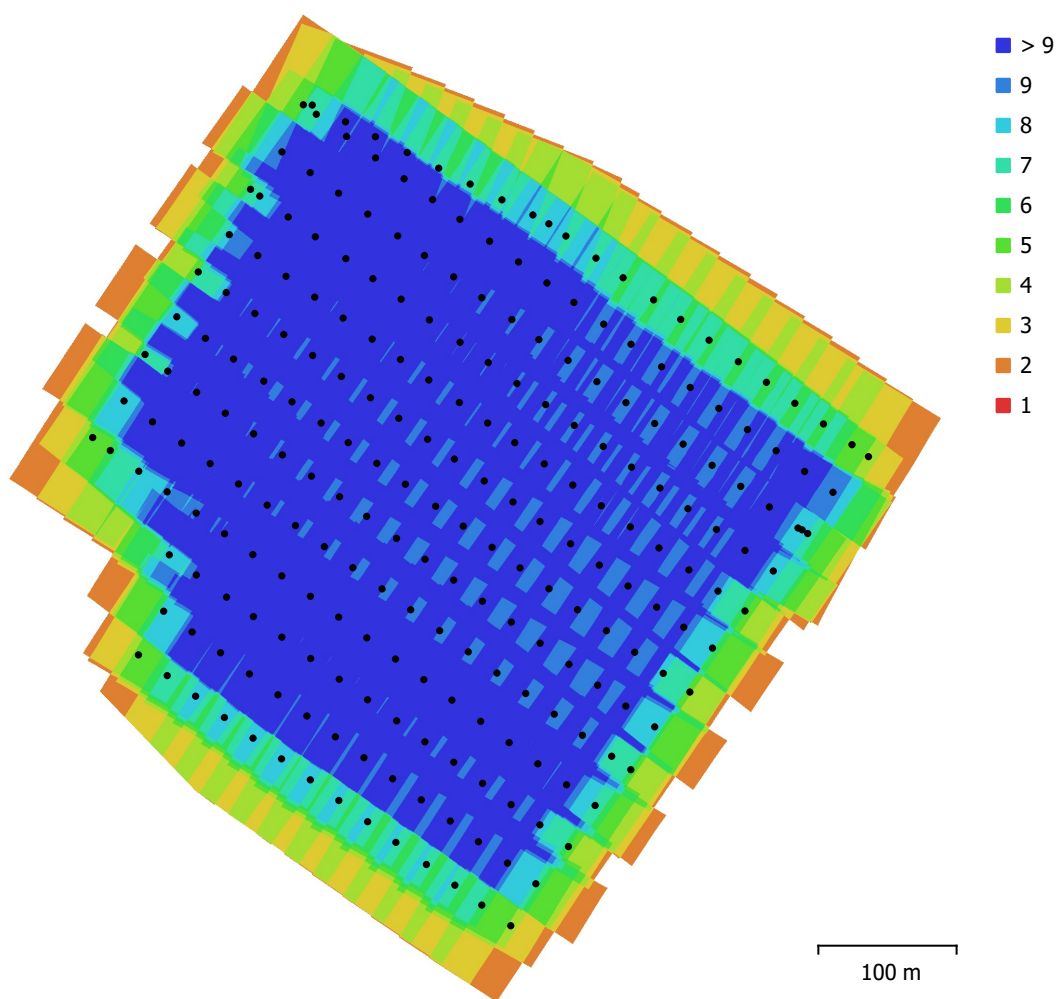


Fig. 1. Camera locations and image overlap.

Number of images:	239	Camera stations:	239
Flying altitude:	89.3 m	Tie points:	365,121
Ground resolution:	2.9 cm/pix	Projections:	1,129,774
Coverage area:	0.271 km^2	Reprojection error:	0.877 pix

Camera Model	Resolution	Focal Length	Pixel Size	Precalibrated
FC3170 (4.5mm)	4000 x 3000	4.5 mm	1.62 x 1.62 um	Não

Table 1. Cameras.

Calibração da Câmera

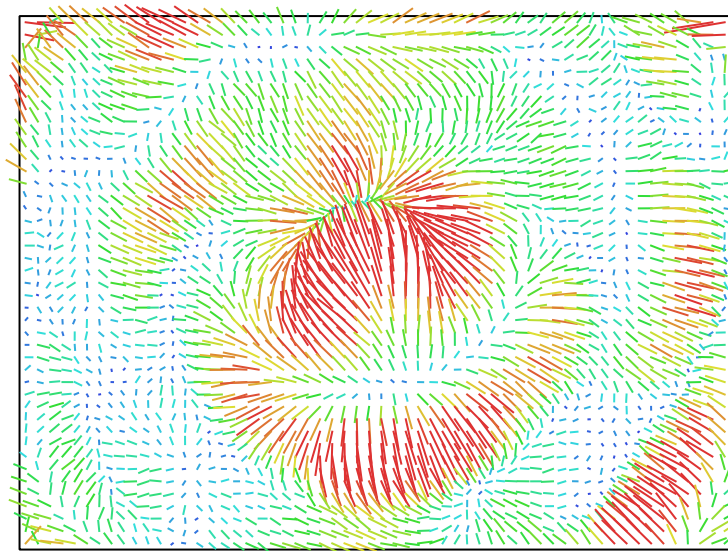


Fig. 2. Image residuals for FC3170 (4.5mm).

FC3170 (4.5mm)

239 images

Type
Frame

Resolution
4000 x 3000

Focal Length
4.5 mm

Pixel Size
1.62 x 1.62 um

	Valor	Error	Cx	Cy	B1	B2	K1	K2	K3	P1	P2
F	2773.5										
Cx	17.8304	0.058	1.00	0.03	-0.01	-0.00	0.05	-0.04	0.06	0.14	-0.02
Cy	35.1646	0.058		1.00	-0.02	0.01	0.02	0.00	0.00	-0.00	0.08
B1	-5.68437	0.052			1.00	-0.02	0.02	0.08	-0.12	0.01	0.00
B2	1.40987	0.056				1.00	0.09	0.04	-0.04	-0.02	-0.09
K1	-0.0305346	5.6e-005					1.00	-0.22	0.11	0.30	-0.74
K2	0.146678	9.6e-005						1.00	-0.98	0.11	-0.31
K3	-0.132323	8.6e-005							1.00	-0.13	0.37
P1	0.000476101	2.4e-006								1.00	-0.33
P2	-0.000372978	4.3e-006									1.00

Table 2. Calibration coefficients and correlation matrix.

Camera Locations

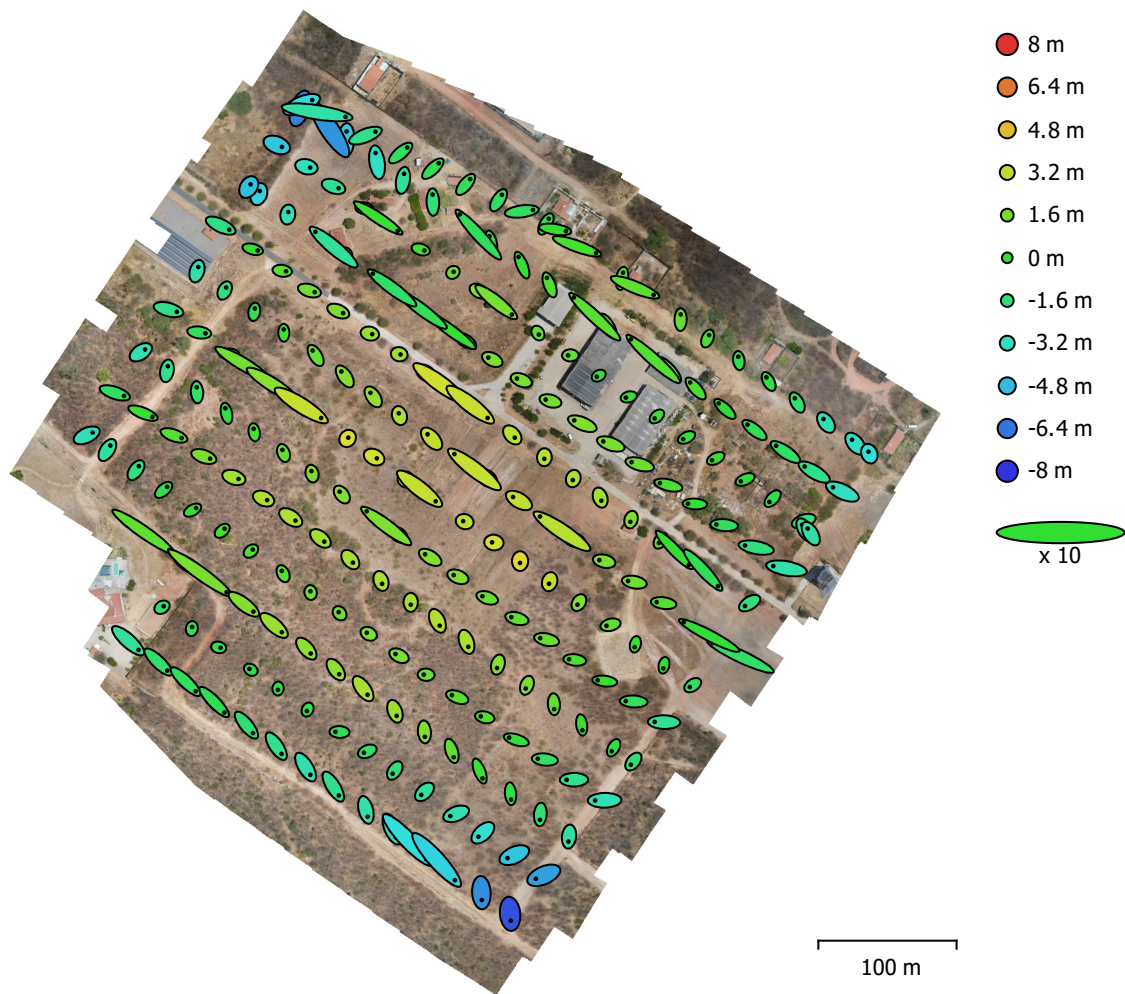


Fig. 3. Camera locations and error estimates.

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)
1.23376	0.950305	2.21911	1.55732	2.71103

Table 3. Average camera location error.

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

Digital Elevation Model

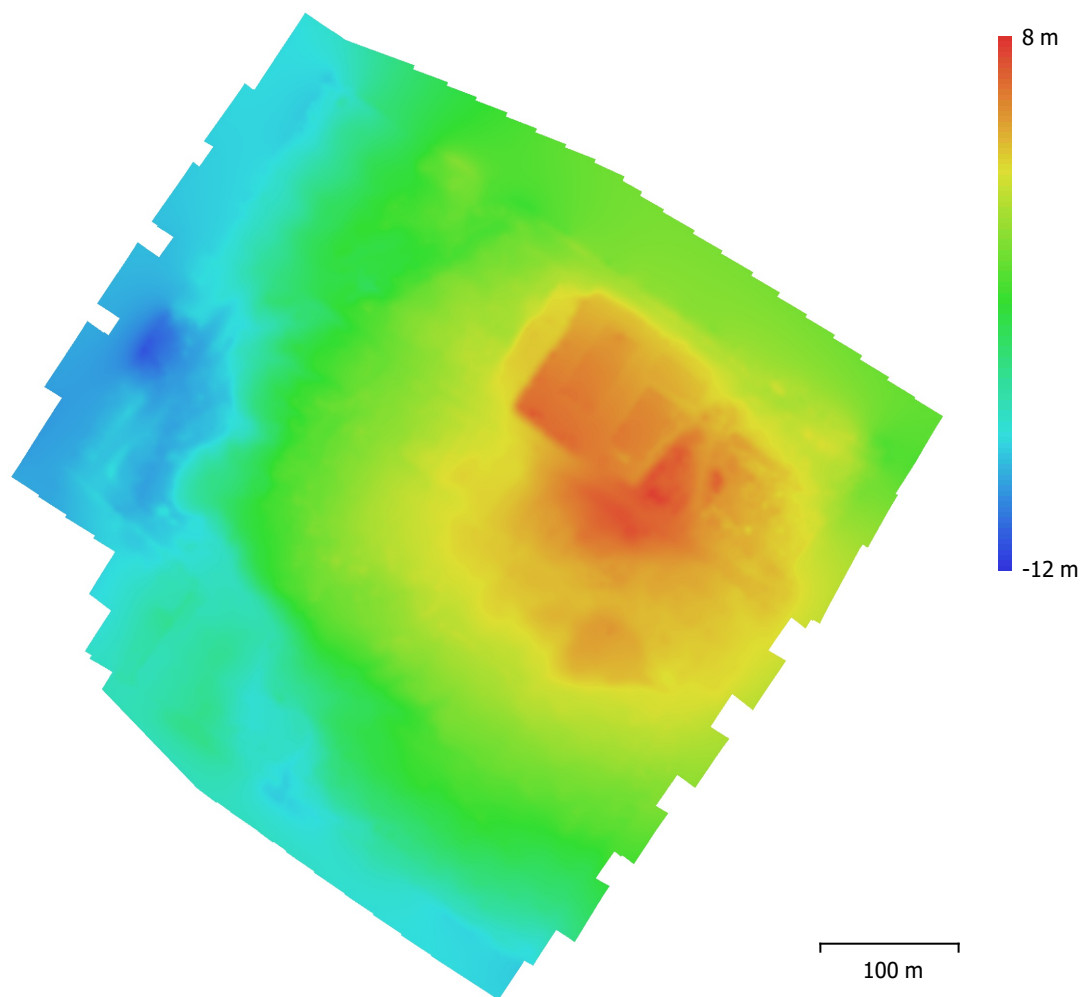


Fig. 4. Reconstructed digital elevation model.

Resolution: 5.81 cm/pix
Point density: 296 points/m²

Processing Parameters

Geral

Câmaras	239
Aligned cameras	239

Shapes

Polylines	22
Polygons	45
Coordinate system	SIRGAS 2000 / UTM zone 24S (EPSG::31984)
Rotation angles	Yaw, Pitch, Roll

Nuvem de Pontos

Pontos	365,121 of 378,437
RMS reprojection error	0.173781 (0.876667 pix)
Max reprojection error	0.521757 (32.85 pix)
Mean key point size	4.48173 pix
Cores dos pontos	3 bands, uint8
Key points	Não
Average tie point multiplicity	3.16439

Parâmetros de alinhamento

Precisão	Elevada
Generic preselection	Não
Reference preselection	Sim
Key point limit	40,000
Tie point limit	10,000
Adaptive camera model fitting	Sim
Matching time	8 minutes 10 seconds
Alignment time	1 minutes 31 seconds

Mapas de Profundidade

Número	239
Parâmetros de reconstrução	
Qualidade	Elevada
Filtering mode	Mild
Tempo de processamento	9 minutes 13 seconds

Dense Point Cloud

Pontos	75,623,048
Cores dos pontos	3 bands, uint8
Parâmetros de reconstrução	
Qualidade	Elevada
Depth filtering	Mild
Depth maps generation time	9 minutes 13 seconds
Dense cloud generation time	18 minutes 42 seconds

Modelo

Faces	15,049,178
Vértices	7,530,275
Cores dos vértices	3 bands, uint8
Parâmetros de reconstrução	
Surface type	Mapa de alturas / Terreno
Source data	Dense
Interpolation	Enabled
Qualidade	Elevada
Depth filtering	Mild
Número de faces	15,124,609

Geral

Tempo de processamento 3 minutes 10 seconds

Tiled Model

Texture 3 bands, uint8

Parâmetros de reconstrução

Source data Depth maps
Tile size 512
Número de faces Média
Enable ghosting filter Não
Tempo de processamento 44 minutes 40 seconds

DEM

Tamanho 16,615 x 16,688
Coordinate system SIRGAS 2000 / UTM zone 24S (EPSG::31984)

Parâmetros de reconstrução

Source data Mesh
Interpolation Enabled
Tempo de processamento 3 minutes 1 seconds

Orthomosaic

Tamanho 21,083 x 22,185
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
Tempo de processamento 4 minutes 21 seconds

Software

Version 1.5.1 build 7618
Platform Windows 64

Relatório - DJI Mavic Airi 2 (com correção RTK)

**Processing Report
24 March 2025**



Survey Data

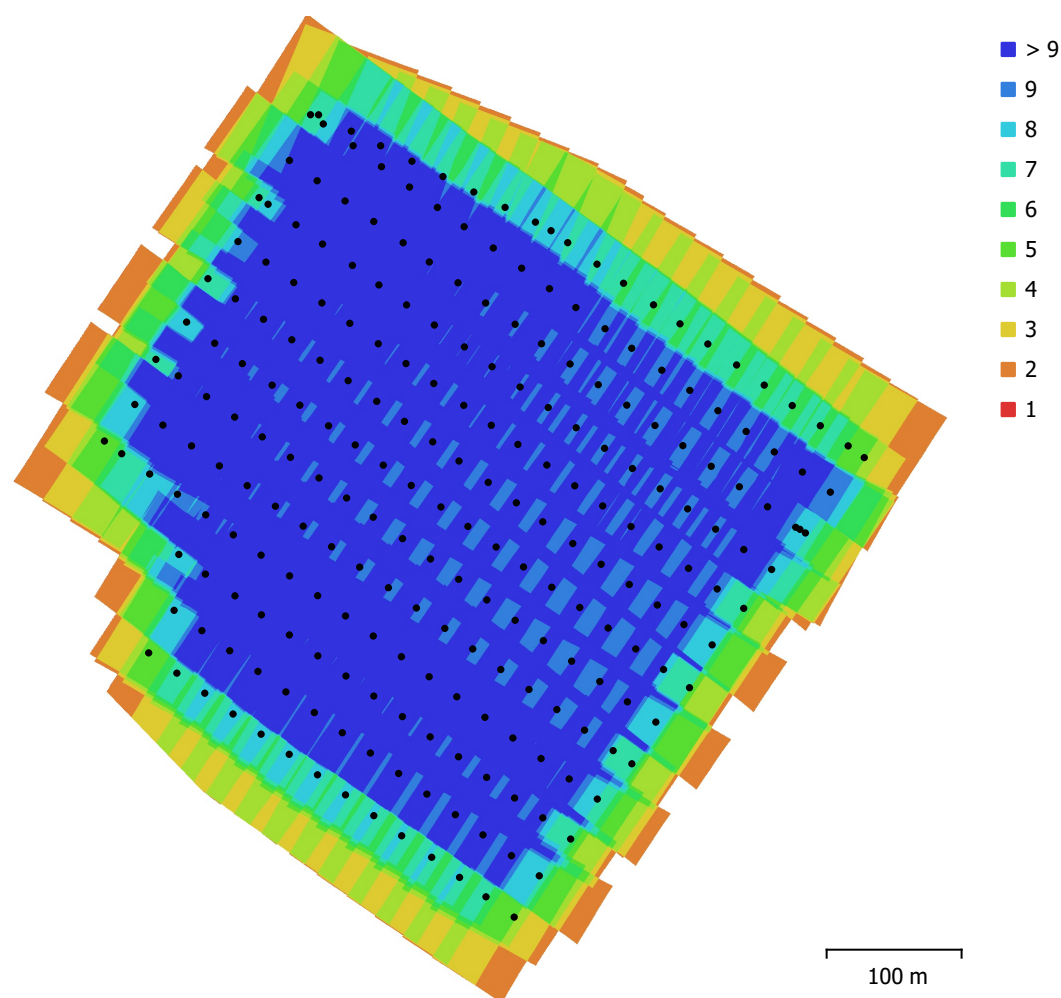


Fig. 1. Camera locations and image overlap.

Number of images:	239	Camera stations:	239
Flying altitude:	95.8 m	Tie points:	365,124
Ground resolution:	2.95 cm/pix	Projections:	1,129,793
Coverage area:	0.283 km^2	Reprojection error:	0.849 pix

Camera Model	Resolution	Focal Length	Pixel Size	Precalibrated
FC3170 (4.5mm)	4000 x 3000	4.5 mm	1.62 x 1.62 um	Não

Table 1. Cameras.

Calibração da Câmera

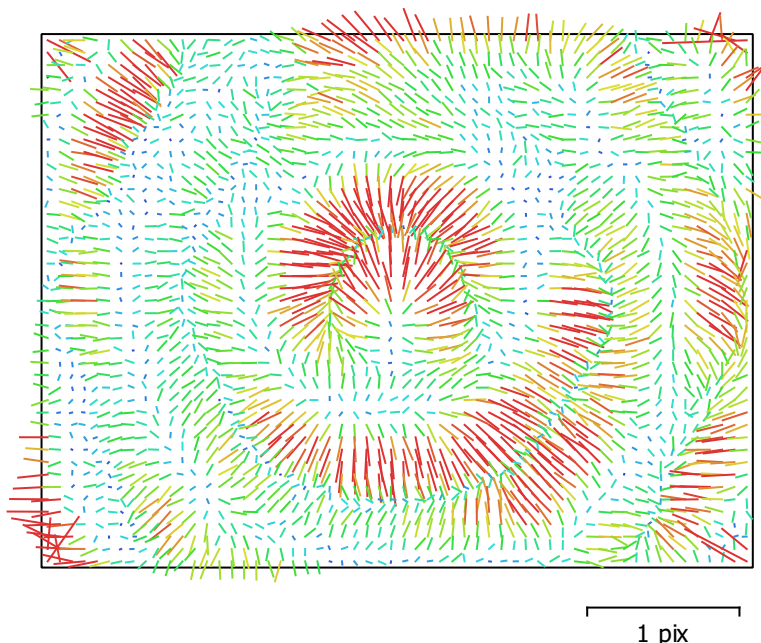


Fig. 2. Image residuals for FC3170 (4.5mm).

FC3170 (4.5mm)

239 images

Type
Frame

Resolution
4000 x 3000

Focal Length
4.5 mm

Pixel Size
1.62 x 1.62 um

	Valor	Error	F	Cx	Cy	B1	B2	K1	K2	K3	K4	P1	P2	P3	P4
F	2961.9	0.7	1.00	0.03	-0.85	0.12	0.09	-0.35	0.48	-0.39	0.11	0.04	0.01	-0.06	0.04
Cx	16.9599	0.057		1.00	0.04	-0.08	0.31	-0.03	0.04	-0.05	0.05	0.04	-0.06	-0.37	0.39
Cy	9.91336	0.11			1.00	-0.27	-0.07	0.30	-0.41	0.33	-0.09	-0.01	0.03	-0.12	0.13
B1	-5.15717	0.012				1.00	-0.01	-0.04	0.06	-0.04	0.01	0.03	0.03	0.05	-0.07
B2	1.48175	0.012					1.00	-0.03	0.05	-0.04	0.02	-0.01	-0.05	-0.10	0.12
K1	-0.0429017	7.2e-005						1.00	-0.97	0.94	-0.86	-0.05	-0.03	0.03	-0.02
K2	0.188819	0.00043							1.00	-0.98	0.89	0.06	0.03	-0.03	0.02
K3	-0.198609	0.00088								1.00	-0.95	-0.06	-0.03	0.03	-0.01
K4	0.00745588	0.00061									1.00	0.06	0.03	-0.00	-0.01
P1	-0.00133275	4.4e-006										1.00	0.39	-0.12	-0.08
P2	-0.00170048	4.2e-006											1.00	-0.09	-0.12
P3	-3.27484	0.0048												1.00	-0.94
P4	2.71009	0.0074													1.00

Table 2. Calibration coefficients and correlation matrix.

Camera Locations

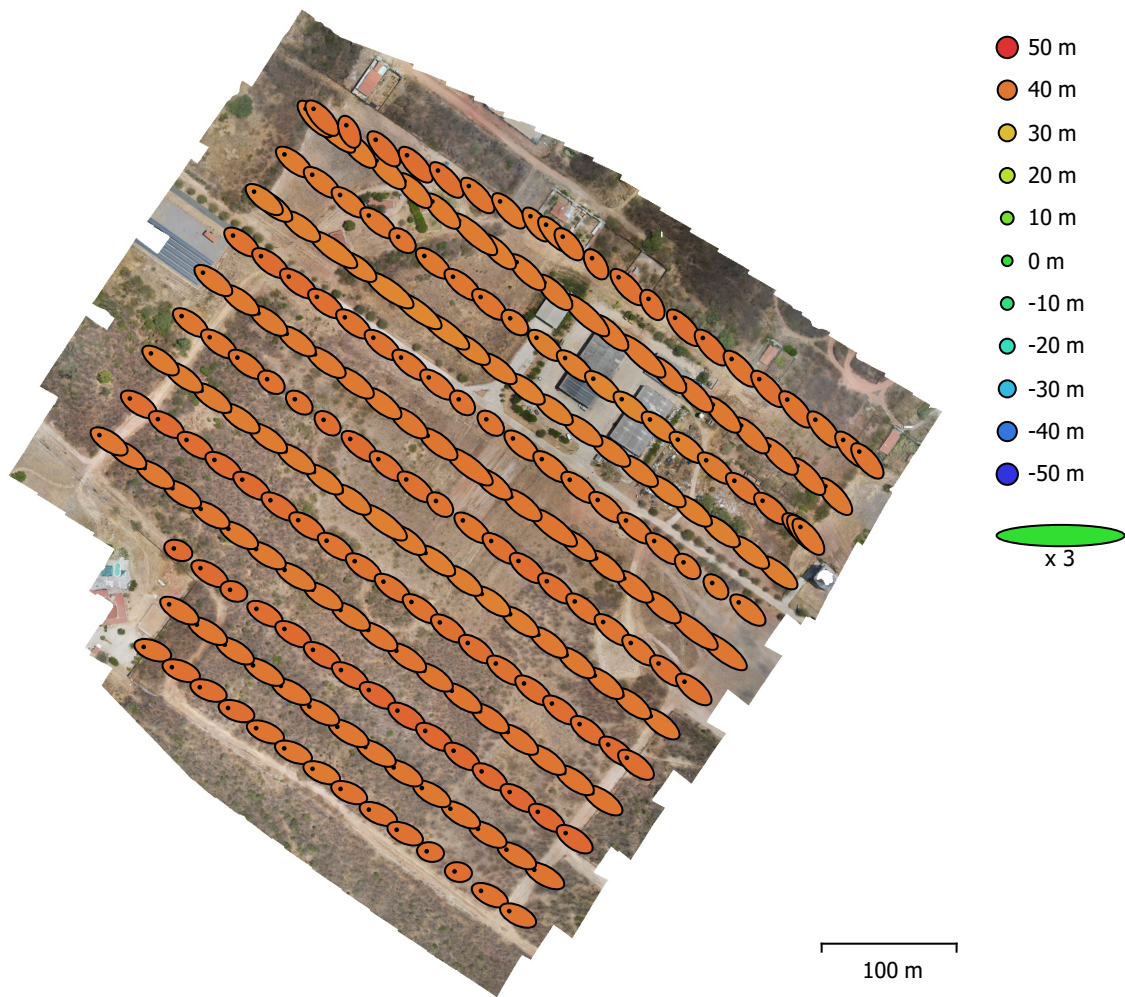


Fig. 3. Camera locations and error estimates.

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)
4.82205	3.77485	40.0294	6.12386	40.4951

Table 3. Average camera location error.

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

Ground Control Points

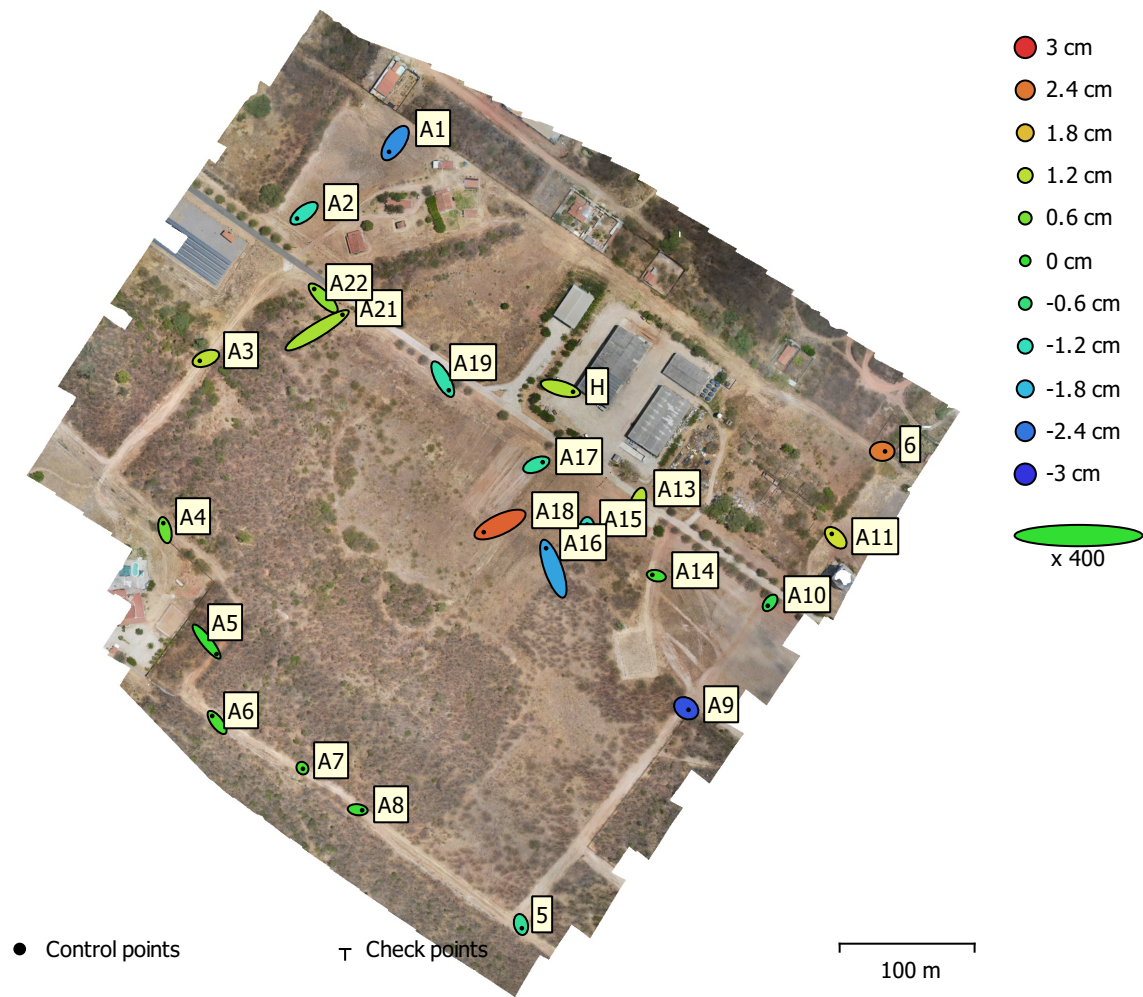


Fig. 4. GCP locations and error estimates.

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)
23	3.09332	2.93196	1.35497	4.26205	4.47225

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)
A1	-2.25809	-3.24591	-2.19709	4.52351	0.244 (11)
A2	-2.6116	-1.95496	-1.13965	3.4556	0.249 (10)
A3	-2.25293	-0.901256	1.19779	2.70604	0.189 (13)
A5	3.68752	-4.6432	0.0342371	5.92944	0.168 (10)
A6	-1.81262	2.41776	0.210138	3.02908	0.131 (7)
A7	0.17665	-0.259318	0.234456	0.39169	0.103 (7)
A4	-0.60874	2.58211	0.479648	2.69591	0.138 (6)
A8	1.64963	-0.191452	0.0863732	1.66295	0.091 (6)
5	0.336544	-1.36629	-0.8643	1.65137	0.088 (4)
A9	0.844186	-0.597719	-2.73518	2.92423	0.218 (6)
A10	-0.851274	-1.08088	-0.261921	1.40056	0.345 (5)
6	1.0428	-0.0169952	2.38003	2.59851	0.147 (4)
A11	-1.44503	1.43434	1.37338	2.45594	0.240 (6)
A13	-1.10953	-3.36429	1.15781	3.72693	0.287 (9)
A14	-1.48196	0.308569	0.135429	1.51979	0.198 (10)
A15	0.0858609	1.51733	-1.23476	1.95813	0.193 (10)
A16	-2.68241	7.57115	-2.01548	8.28129	0.149 (10)
A17	2.36749	0.967721	-0.934756	2.7231	0.228 (10)
A18	-6.01835	-2.829	2.59364	7.13798	0.248 (9)
A19	2.25019	-4.12365	-1.05042	4.81365	0.249 (11)
A21	9.38887	5.75157	1.01212	11.0569	0.212 (10)
A22	-3.32882	3.34554	0.783477	4.78409	0.264 (10)
H	4.64759	-1.29058	1.09217	4.94556	0.350 (10)
Total	3.09332	2.93196	1.35497	4.47225	0.222

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

Digital Elevation Model

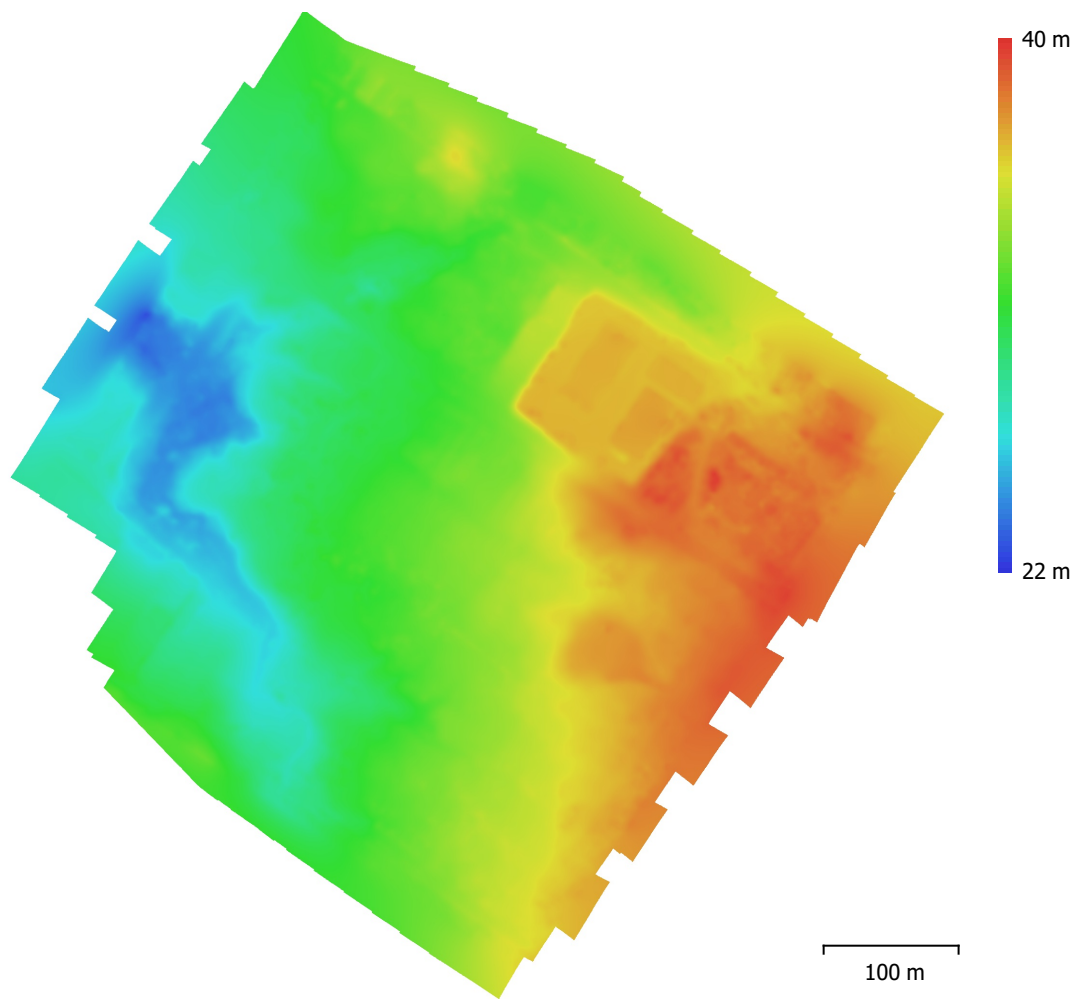


Fig. 5. Reconstructed digital elevation model.

Resolution: 5.9 cm/pix
Point density: 287 points/m²

Processing Parameters

Geral

Câmaras	239
Aligned cameras	239
Marcadores	23

Shapes

Polylines	28
Polygons	50
Coordinate system	SIRGAS 2000 / UTM zone 24S (EPSG::31984)
Rotation angles	Yaw, Pitch, Roll

Nuvem de Pontos

Pontos	365,124 of 378,436
RMS reprojection error	0.154426 (0.849194 pix)
Max reprojection error	1.04304 (32.9071 pix)
Mean key point size	4.48169 pix
Cores dos pontos	3 bands, uint8
Key points	Não
Average tie point multiplicity	3.16439

Parâmetros de alinhamento

Precisão	Elevada
Generic preselection	Não
Reference preselection	Sim
Key point limit	40,000
Tie point limit	10,000
Adaptive camera model fitting	Sim
Matching time	8 minutes 8 seconds
Alignment time	1 minutes 31 seconds

Optimization parameters

Parâmetros	f, b1, b2, cx, cy, k1-k4, p1- p4
Adaptive camera model fitting	Não
Optimization time	11 seconds

Mapas de Profundidade

Número	239
--------	-----

Parâmetros de reconstrução

Qualidade	Elevada
Filtering mode	Mild
Tempo de processamento	10 minutes 3 seconds

Dense Point Cloud

Pontos	82,926,329
Cores dos pontos	3 bands, uint8
Parâmetros de reconstrução	
Qualidade	Elevada
Depth filtering	Mild
Depth maps generation time	10 minutes 3 seconds
Dense cloud generation time	17 minutes 47 seconds

Modelo

Faces	16,512,241
Vértices	8,261,967
Cores dos vértices	3 bands, uint8
Parâmetros de reconstrução	
Surface type	Mapa de alturas / Terreno

Geral

Source data	Dense
Interpolation	Enabled
Qualidade	Elevada
Depth filtering	Mild
Número de faces	16,585,264
Tempo de processamento	3 minutes 31 seconds

Tiled Model

Texture	3 bands, uint8
---------	----------------

Parâmetros de reconstrução

Source data	Dense cloud
Tile size	512
Número de faces	Média
Enable ghosting filter	Não
Tempo de processamento	1 hours 32 minutes

DEM

Tamanho	16,649 x 16,714
Coordinate system	SIRGAS 2000 / UTM zone 24S (EPSG::31984)

Parâmetros de reconstrução

Source data	Mesh
Interpolation	Enabled
Tempo de processamento	3 minutes 8 seconds

Orthomosaic

Tamanho	23,485 x 24,779
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
Tempo de processamento	5 minutes 2 seconds

Software

Version	1.5.1 build 7618
Platform	Windows 64