



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS

RINALDO SANTANA DA SILVA FILHO

USO E APLICAÇÃO DE DRONE PARA INSPEÇÃO DE FACHADAS

RECIFE

2024

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CARTOGRÁFICA E AGRIMENSURA

RINALDO SANTANA DA SILVA FILHO

USO E APLICAÇÃO DE DRONE PARA INSPEÇÃO DE FACHADA

TCC apresentado ao Curso de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura da Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, como requisito para a obtenção do título de bacharel em Engenharia Cartográfica e de Agrimensura.

Orientador(a): Prof. (a) Dr^a Simone Sayuri Sato

RECIFE

2024

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Silva Filho, Rinaldo Santana da .

Uso e aplicação de drone para inspeção de fachadas / Rinaldo Santana da Silva Filho. - Recife, 2024.

113 p. : il., tab.

Orientador(a): Simone Sayuri Sato

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Engenharia Cartográfica e de Agrimensura - Bacharelado, 2024.

Inclui referências, apêndices.

1. Drone. 2. Fachada. 3. Inspeção. 4. Ortoimagem. I. Sato, Simone Sayuri. (Orientação). II. Título.

620 CDD (22.ed.)

RINALDO SANTANA DA SILVA FILHO

USO E APLICAÇÃO DE DRONE PARA INSPEÇÃO DE FACHADA

TCC apresentado ao Curso de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura da Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, como requisito para a obtenção do título de bacharel em Engenharia Cartográfica e de Agrimensura.

Aprovado em: 02/10/2024.

BANCA EXAMINADORA

Prof^o. Dr^a Simone Sayuri Sato (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof^o. Dr. Erison Rosa de Oliveira Barros (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof^o. Dr. Arnaldo Manoel Pereira Carneiro (Examinador Externo)
Universidade Federal de Pernambuco

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, por ser essencial em minha vida, autor de meu destino e meu guia.

Dedico à minha mãe Zenaide, à minha esposa Stefania Rodrigues, à minha filha Laura, à meus irmãos, aos familiares e amigos que estiveram presentes nesta jornada, que com muito carinho e apoio, não mediram esforços para que eu chegasse até esta etapa de minha vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por me guiar por toda esta longa caminhada e não deixar desistir.

Agradeço a todos que contribuíram para a realização deste trabalho, especialmente à minha família, que esteve ao meu lado durante toda a jornada, agradeço pelo apoio incondicional, pela compreensão nos momentos de ausência e pela paciência infinita durante os períodos de estudo intenso.

Agradeço à minha orientadora Professora Simone Sayuri Sato, pela orientação valiosa e pelo incentivo constante, mesmo nos momentos mais desafiadores, e agradeço também a todas as pessoas que de alguma forma contribuíram para este projeto, direta ou indiretamente.

RESUMO

O presente trabalho de conclusão de curso aborda estudos de inspeção de fachadas usando veículos aéreos não tripulados (drones). A motivação para a escolha deste tema consiste na crescente relevância da tecnologia dos drones e na sua capacidade de proporcionar inspeções com maior segurança e facilitar o acesso vertical. A relevância deste trabalho, está na abordagem de técnicas e desafios relacionadas à inspeção de fachadas com o uso de geotecnologias, dentre estas estão: apoio geodésico por receptores GNSS para determinar uma base de apoio georreferenciada; levantamento topográfico usando estação total para determinação de um sistema de coordenadas 3D na fachada, levantamento fotogramétrico utilizando drones. A pesquisa tem como objetivo explorar as potencialidades da utilização de drones como ferramenta inovadora para inspeção de fachadas prediais, considerando não somente a qualidade visual, mas também a qualidade métrica e geométrica. Esses benefícios, são obtidos por meio do uso de técnicas de levantamentos fotogramétricos a curta distância. Em seguida é apresentado a metodologia desenvolvida para avaliar diferentes características de tomada de fotos de fachadas usando a plataforma de drones do tipo quadricóptero com um sistema de câmeras embarcado. Foram realizados testes de qualidade métricas usando diferentes sistemas de coordenadas (arbitrária e referenciadas). Buscou-se, desta forma, definir parâmetros fotogramétricos que levou em consideração: nível de detalhamento e qualidade métrica para inspeção de fachadas. Alguns parâmetros estudados e aplicados foram: sentido (direção) sequencial de captura das fotos e distância entre a fachada e a posição da câmera embarcada em drone. Ainda na metodologia desenvolvida, considerou dois tipos de levantamentos, o fotogramétrico georreferenciado usando uma base de referência determinado com levantamento GNSS e topográfico com estação total e o segundo, o métrico, conhecido popularmente como barra de escala. No desenvolvimento do trabalho, os resultados apresentam vantagens de trazer detalhes mensuráveis em dimensões 3D em comparação com métodos tradicionais de inspeção, que são geralmente, visuais. Obteve-se o modelo 3D e a ortoimagem com resolução espacial média de 26 milímetros por pixel. Com esses dois produtos fotogramétricos, foram comparadas e destacadas características visuais e métricas. Como conclusão, o trabalho pôde contribuir para impulsionar a viabilidade e aplicabilidade dessa tecnologia de uso de drone no contexto da inspeção de fachadas.

Palavras-chave: Drone; Fachada; Inspeção; Ortoimagem.

ABSTRACT

This final degree project focuses on façade inspection studies using unmanned aerial vehicles (drones). The motivation for choosing this topic lies in the growing relevance of drone technology and its ability to provide safer inspections and facilitate vertical access. The relevance of this work lies in the approach to techniques and challenges related to façade inspection using geotechnologies, including: geodetic support using GNSS receivers to determine a georeferenced support base; topographic survey using a total station to determine a 3D coordinate system on the façade; photogrammetric survey using drones. The research aims to explore the potential of using drones as an innovative tool for inspecting building façades, taking into account not only visual quality but also metric and geometric quality. These benefits are obtained through the use of close-range photogrammetric surveying techniques. The methodology developed to evaluate different characteristics of façade photography using a quadcopter drone platform with an on-board camera system is presented below. Metric quality tests were carried out using different coordinate systems (arbitrary and referenced). The aim was to define photogrammetric parameters that took into account: level of detail and metric quality for façade inspection. Some of the parameters studied and applied were: the sequential direction in which the photos were taken and the distance between the façade and the drone's camera position. Also in the methodology developed, two types of survey were considered: the georeferenced photogrammetric survey using a reference base determined with a GNSS survey and the topographic survey with a total station, and the second, the metric survey, popularly known as a scale bar. In the development of the work, the results show the advantages of bringing measurable details in 3D dimensions compared to traditional inspection methods, which are generally visual. The 3D model and orthoimage were obtained with an average spatial resolution of 26 millimeters per pixel. With these two photogrammetric products, visual and metric characteristics were compared and highlighted. In conclusion, the work was able to contribute to boosting the viability and applicability of this drone technology in the context of façade inspection.

Keywords: Drone; Facade; Inspection; Ortoimaging.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Comparação de resultados - Processamento em escala métrica.

Quadro 2 – Comparação de resultados - Processamento voo 5 m.

Quadro 3 – Comparação de resultados - Processamento voo 10 m.

Quadro 4 – Comparação dos resultados. Feição 1.

Quadro 5 – Comparação dos resultados. Feição 2.

Quadro 6 – Comparação dos resultados. Feição 3.

Quadro 7 – Comparação dos resultados. Feição 4.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tempo de rastreamento dos receptores

Tabela 2 – Coordenadas geodésicas elipsoidais

Tabela 3 – Coordenadas UTM SIRGAS 2000

Tabela 4 – Levantamento topográfico com estação em P1

Tabela 5 – Levantamento topográfico com estação em P2

Tabela 6 – Azimutes Iniciais

Tabela 7 – Azimutes dos Pontos de Controle com Estação em P1

Tabela 8 – Azimutes dos Pontos de Controle com Estação em P2

Tabela 9 – Coordenadas transportadas para os pontos de controle da fachada partindo do ponto P1

Tabela 10 – Coordenadas transportadas para os pontos de controle da fachada partindo do ponto P2

Tabela 11 – Coordenadas médias dos pontos de controle da fachada

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Az	Azimute
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
Di	Distância Inclinada
Dh	Distância Horizontal
Dv	Distância Vertical
GNSS	Global Navigation Satellite System
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
H	Altura
Hi	Altura do Instrumento
Hp	Altura do Prisma
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
SFM	Structure From Motion (Estrutura do Movimento)
VANT	Veículo Aéreo Não Tripulado
z	Ângulo Vertical Zenital

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	13
2. OBJETIVOS.....	15
2.1 OBJETIVO GERAL.....	15
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
3 REVISÃO DE LITERATURA.....	16
3.1 FOTOGRAMETRIA DIGITAL.....	16
3.1.1 Structure From Motion - SfM.....	16
3.2 USO DE DRONES NA ATUALIDADE.....	17
3.3 FLUXO DE ETAPAS PARA O LEVANTAMENTO FOTOGRAMÉTRICO DE INSPEÇÃO DE FACHADA COM USO DE DRONES.....	18
3.3.1 Planejamento Da Missão.....	18
3.3.2 Pontos de Controle.....	18
3.3.3 Recomendações de Parâmetros de Voo.....	19
3.3.4 Escolha e Configuração do Equipamento.....	20
3.3.5 Execução do Voo.....	20
3.3.6 Processamento de Dados.....	20
3.3.6.1 Alinhamento das Imagens.....	20
3.3.6.2 Produtos Fotogramétricos.....	21
3.3.6.2.1 Geração de Nuvem de Pontos.....	21
3.3.6.2.2 Criação do Modelo 3D.....	21
3.3.6.2.3 Ortomosaico.....	21
3.3.7 Análise dos Resultados.....	22
3.4 LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO E APOIO GEODÉSICO.....	22
3.4.1 Método de Interseção a Vante.....	23
3.4.2 Nivelamento Trigonométrico.....	24
3.4.3 Levantamento GNSS por Posicionamento Absoluto e Processamento PPP.....	26
3.5 MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS.....	29
3.5.1 Manifestações Patológicas em Fachadas.....	29
4 METODOLOGIA.....	34
4.1 ÁREA DE ESTUDO.....	35
4.2 MEDIÇÃO MÉTRICA.....	36
4.3 POSICIONAMENTO GNSS.....	36
4.4 LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO.....	38
4.5 DETERMINAÇÃO DE COORDENADAS TRIDIMENSIONAIS DA FACHADA.....	40
4.6 AQUISIÇÃO DE FOTOGRAFIAS COM DRONE.....	41
5 RESULTADOS.....	50
A - MEDIÇÃO MÉTRICA.....	50
B - LEVANTAMENTO GEODÉSICO.....	63
C - LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO.....	64

D - PROCESSAMENTO FOTOGRAMÉTRICO.....	69
E - IDENTIFICAÇÃO DE PATOLOGIAS.....	99
6 CONCLUSÕES.....	102
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	103
8 REFERÊNCIAS.....	105
9 APÊNDICES.....	110
APÊNDICE A - RELATÓRIO PROCESSAMENTO PPP BASE P1.....	110
APÊNDICE B - RELATÓRIO PROCESSAMENTO PPP BASE P2.....	111
APÊNDICE C - CADERNETA DE CAMPO LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO.....	112
APÊNDICE D - CADERNETA DE CAMPO LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO.....	112
APÊNDICE E - PLANILHA DE CÁLCULO DAS COORDENADAS DOS PONTOS DE CONTROLE.....	113
APÊNDICE F - PLANILHA DE CÁLCULO DAS COORDENADAS DOS PONTOS DE CONTROLE.....	113

1 INTRODUÇÃO

A inspeção visual de fachadas tem como propósito avaliar o estado de conservação da vedação vertical e os diferentes elementos que a compõem, fornecendo diretrizes para uma manutenção eficaz e de custo benefício adequado (Ballesteros R.D. et al., 2021).

Os avanços tecnológicos têm contribuído para o trabalho de inspeção de fachadas, facilitando o trabalho dos profissionais na obtenção da representação das informações no mapa de avarias (PEÑA-VILLASENÍN et al., 2020). E devido aos desafios existentes no procedimento de inspeção de fachadas, novas tecnologias e métodos estão sendo propostos para agilizar os processos envolvidos (PÉREZ-PORTUGAL; ATENCIO et al., 2022).

Portanto, a fotogrametria digital surge como um método que elimina trabalhos tediosos, como, por exemplo, a medição com a fita métrica, permitindo assim que os profissionais preparem desenhos precisos de edifícios para trabalhos de manutenção ou restauração (MENDES et al., 2022, p. 2).

Com a finalidade de inspeção de fachadas por meio da fotogrametria digital, o método proposto neste trabalho, tem como objetivo de testar e verificar parâmetros de aquisição de imagens, métodos de processamentos e realizar testes de qualidade, analisando os produtos oriundos do processamento e dos elementos de aquisição, de modo visual e métrico. A metodologia desenvolvida é testada pressupondo que o uso de veículo aéreo não tripulado (VANT), popularmente conhecidas como drones, garantam maior agilidade e segurança na inspeção de fachadas. Na pesquisa bibliográfica, pôde-se observar que MENDES (2022), enfatiza como benefício a redução de tempo e custo financeiro da inspeção quando empregado drones. (PÉREZ-PORTUGAL; ATENCIO et al., 2022) aborda o uso de drone como um sistema de captura de imagens de alta qualidade que gera fotografias de alta resolução, permitindo ao usuário obter as imagens necessárias para realizar um levantamento preciso de uma estrutura, assim possibilitando identificar detalhes que poderiam ser despercebidos na inspeção visual a olho nu.

Neste contexto, procura-se avaliar o potencial do uso de drones na inspeção de fachadas aplicando técnicas da Fotogrametria Digital SfM, buscando apresentar técnicas de reconhecimento e a análise de patologias e de degradações presentes

nos elementos construtivos a partir de metodologia desenvolvida para avaliar diferentes características de tomada de fotos de fachadas usando a plataforma de drones do tipo quadricóptero com um sistema de câmeras embarcado.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo deste trabalho é avaliar o uso de drones na inspeção de fachadas por meio da Fotogrametria Digital.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

A seguir os objetivos específicos a serem alcançados neste trabalho:

- Testar da tecnologia SfM no levantamento fotogramétrico de fachada a partir de imagens obtidas com drone;
- Testar diferentes distâncias de tomadas de imagens para avaliar a qualidade visual;
- Avaliar a qualidade métrica usando dois tipos de sistemas de coordenadas;
- Comparar os resultados finais com os diferentes tipos de parâmetros de voo;
- Identificar patologias presentes na fachada de estudo.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 FOTOGRAMETRIA DIGITAL

A fotogrametria digital é uma técnica que utiliza imagens fotográficas para obter informações precisas sobre a forma, tamanho e posição de objetos no espaço tridimensional. Ela permite a criação de modelos 3D detalhados e precisos, que podem ser usados para visualização, análise, planejamento e monitoramento de projetos em diferentes setores.

A fotogrametria digital tem uma ampla gama de aplicações em diferentes campos, incluindo topografia, arquitetura, arqueologia, engenharia civil, mapeamento de terrenos, inspeção de estruturas, monitoramento ambiental, entre outros. Esta técnica vem se consolidando enquanto um recurso popular para a obtenção de modelos geométricos de objetos variados (MAGALHÃES; SOUZA, 2022).

No contexto atual, a fotogrametria evoluiu com o advento tecnológico do VANT/RPA (BUENO, 2019). Quanto ao software utilizado para o pós-processamento, há diversas opções com licenças pagas e também opções gratuitas, todas capazes de entregar bons modelos a partir de suas sequências de imagens (MAGALHÃES; SOUZA, 2022).

Portanto, para o campo de aplicação de inspeção de fachadas com o uso de drones, técnicas da fotogrametria digital são necessárias serem aplicadas, e no contexto deste trabalho destaca-se Structure From Motion -SfM.

3.1.1 Structure From Motion - SfM

Segundo Viana et al. (2018), o fluxo de trabalho SFM (Structure from Motion) ganhou força nas geociências nos últimos anos, principalmente porque, quando comparado a outros levantamentos digitais, é capaz de produzir dados de alta resolução a baixo custo, de forma rápida e praticamente independente da escala espacial.

A técnica SFM permite a geração de modelos 3D de alta precisão a partir de imagens bidimensionais (2D) de forma simples, trazendo o poder dos modelos

digitais para não especialistas (VIANA et al., 2018). Portanto, esta técnica permite coletar informações muito complexas e completas em pouco tempo, o que é uma grande vantagem para fins de mapeamento e documentação (AICARDI et al., 2016).

As técnicas de fotogrametria permitem a digitalização da edificação, através da extração da geometria dos objetos por meio de fotografias realizadas de diversos ângulos (TOLENTINO, 2018, p. 56). Structure from Motion é uma das principais técnicas utilizadas nos softwares de equipamentos de VANT (BUENO, 2019).

Este conjunto de tecnologias de baixo custo para reconstrução topográfica de alta resolução permite a criação de modelos 3D e nuvens de pontos a partir de uma série de fotos 2D sobrepostas tiradas de diferentes pontos de vista (FURUKAWA et al., 2010; SCHONBERGER; FRAHM, 2016).

3.2 USO DE DRONES NA ATUALIDADE

Nos últimos anos, o uso de drones, ou veículos aéreos não tripulados (VANTs), expandiu-se significativamente em diversos setores devido à sua eficiência na coleta de dados de alta resolução de maneira segura e econômica. Estudos como os de Han Liang et al. (2023), relatam que o uso de drones para monitoramento e inspeção na indústria da construção tem atraído considerável atenção nos últimos anos devido ao seu potencial para aumentar a segurança, eficiência e precisão.

Segundo Ballesteros R.D. et al (2021), o levantamento fotográfico de fachadas através de drone pode diminuir as variáveis custo e tempo, quando comparadas com os métodos tradicionais de inspeção.

Para estudos voltados para inspeções, Acosta, L. M. et al (2019) enfatiza que os dispositivos de coletas embarcadas em drones mais populares são as câmeras digitais, câmeras termográficas infravermelhas e laser scanner. Estes dispositivos de coleta viabilizam a produção dos seguintes recursos visuais: fotografias digitais; modelos tridimensionais; modelos ortomosaicos (Ballesteros R.D. et al., 2021).

De acordo com Han Liang et al. (2023), o uso de drones oferece vários benefícios, incluindo a capacidade de acessar áreas difíceis ou perigosas, capturar imagens de diferentes ângulos e alturas e reduzir o tempo e o custo da inspeção, ao mesmo tempo que aumenta a segurança.

3.3 FLUXO DE ETAPAS PARA O LEVANTAMENTO FOTOGRAMÉTRICO DE INSPEÇÃO DE FACHADA COM USO DE DRONES

O levantamento fotogramétrico de inspeção de fachada utilizando drones envolve uma série de etapas sistemáticas para garantir a qualidade e precisão dos dados capturados, portanto é de extrema importância seguir um fluxo de trabalho, o qual será descrito a seguir:

3.3.1 Planejamento Da Missão

Antes de iniciar o voo, é essencial realizar um planejamento detalhado. Isso inclui a definição da área a ser operada, a escolha do drone e sensores adequados, e a definição dos parâmetros de voo, como altura, sobreposição das imagens e a trajetória do voo. De acordo com Pinto e Medeiros (2020), um bom planejamento é crucial para minimizar erros durante a coleta de dados e melhorar o tempo de voo.

3.3.2 Pontos de Controle

Em levantamentos fotogramétricos de fachadas com drones, o uso de pontos de controle é fundamental para garantir a precisão geométrica e a correta georreferência dos modelos tridimensionais gerados.

Pontos de controle referem-se a alvos artificiais ou objetos naturais dentro da área de levantamento com coordenadas conhecidas que são identificadas para orientar o modelo digitalizado final (PÉREZ-PORTUGAL; ATENCIO et al., 2022, como citado em HARWIN, S.; LUCIEER, A., 2012).

De acordo com Sanz-Ablanedo et al. (2018), os pontos de controle desempenham um papel importante na redução de distorções geométricas, garantindo que as imagens sejam referenciadas a um sistema de coordenadas e fornecer resultados mais precisos.

De forma geral, autores ressaltam a importância da seleção de pontos de controle preferencialmente localizados nas extremidades e no centro da área de interesse.

O avanço das tecnologias como GPS (SLOCUM, 2014), têm facilitado a

coleta eficiente de pontos de controle, permitindo uma maior precisão e uma redução dos erros inerentes aos métodos tradicionais.

3.3.3 Recomendações de Parâmetros de Voo

A fotogrametria de fachadas requer parâmetros específicos de voo para capturar detalhes precisos das superfícies verticais de edifícios e estruturas.

Para a inspeção de fachadas, especificamente para patrimônios, as imagens são obtidas considerando quatro parâmetros de voo: sobreposição, distância ao objeto, ângulo da câmera e pontos de controle (A PÉREZ-PORTUGAL; E. ATENCIO; ET AL., 2022).

- **Sobreposição:** é a porcentagem de uma imagem que cobre a seguinte, com as duas imagens sobrepostas. A sobreposição vertical é usada na inspeção de estruturas verticais, como edifícios e fachadas (PÉREZ-PORTUGAL; E. ATENCIO; ET AL., 2022, como citado em RAKHA, T.; GORODETSKY, 2018).
- **Distância ao objeto:** Essa é a distância que o veículo aéreo precisa voar para obter as imagens digitais. No caso do levantamento de fachada, é medido desde o sensor do instrumento até a superfície da fachada. Esta distância é sempre variável mas um valor representativo deve ser definido (PÉREZ-PORTUGAL; E. ATENCIO; ET AL., 2022, como citado em JACOB-LOYOLA, N.; MUÑOZ-LA RIVERA, F.; ET AL., 2021);
- **Ângulo da câmera:** é o ângulo formado entre o eixo óptico e o eixo horizontal da câmera. O piloto do veículo aéreo deve escolher um ângulo estabelecido que permita a captura de informações de profundidade dos elementos presentes nas imagens. O uso de fotografias oblíquas melhoram os resultados obtidos através de métodos fotogramétricos, permitindo a visualização de detalhes que de outra forma poderiam ficar ocultos (PÉREZ-PORTUGAL; E. ATENCIO; ET AL., 2022, como citado em LUIS-RUIZ, J.M.D.; SEDANO-CIBRIÁN, J.; ET AL, 2021);
- **Pontos de controle:** Referem-se a alvos artificiais ou objetos naturais dentro da área de levantamento com coordenadas conhecidas que são identificadas

para orientar o modelo digitalizado final (PÉREZ-PORTUGAL; E. ATENCIO; ET AL., 2022, como citado em HARWIN, S.; LUCIEER, A., 2012).

3.3.4 Escolha e Configuração do Equipamento

Nesta fase, são escolhidos o drone e os sensores (câmeras) adequados para o projeto, levando em consideração a resolução necessária para capturar detalhes da fachada e o tipo de sistema de navegação (GNSS/RTK). A configuração correta do equipamento é essencial, conforme destacado por Silva e Rodrigues (2019), que enfatiza a importância da instalação das câmeras e do sistema de navegação antes da realização do voo.

3.3.5 Execução do Voo

Com o planejamento definido e o equipamento configurado, o voo está concluído. É importante que o voo siga rigorosamente o plano estabelecido para garantir a sobreposição das imagens e a cobertura completa da fachada. Segundo Ferreira et al. (2021), o uso de drones com sistemas de navegação RTK (Real-Time Kinematic) pode aumentar significativamente a acurácia, reduzindo a necessidade de um grande número de pontos de controle.

3.3.6 Processamento de Dados

Após a coleta das imagens, o próximo passo é o processamento das mesmas utilizando softwares especializados. Durante esta etapa, o software utiliza os pontos de controle para georreferenciar as imagens, criando modelos tridimensionais com precisão geoespacial. Segundo Costa e Lopes (2017), a inclusão de pontos de controle garantem que os modelos gerados tenham alta precisão, tanto em termos de localização quanto em dimensões.

3.3.6.1 Alinhamento das Imagens

O primeiro passo no processamento é o alinhamento das imagens. Segundo Segundo Luhmann et al. (2014), esse processo envolve o reconhecimento de

pontos-chave nas fotos e a correspondência entre eles para reconstruir a posição exata em que cada imagem foi capturada.

3.3.6.2 Produtos Fotogramétricos

3.3.6.2.1 Geração de Nuvem de Pontos

Após o alinhamento, é gerada uma nuvem de pontos densa, que representa a superfície da fachada em três dimensões. De acordo com Soergel (2018), a nuvem de pontos é uma representação detalhada da geometria da fachada, onde cada ponto na nuvem corresponde a uma coordenada tridimensional calculada a partir das imagens capturadas. Este passo é fundamental, pois a nuvem de pontos serve como base para a criação de modelos mais refinados e análises subsequentes.

3.3.6.2.2 Criação do Modelo 3D

A partir da nuvem de pontos, é possível gerar o modelo tridimensional da fachada. Segundo Remondino e El-Hakim (2020), a modelagem 3D permite a visualização precisa das características da fachada, incluindo irregularidades e defeitos que podem não ser visíveis em uma simples fotografia. Essa etapa requer o uso de software especializado que converte a nuvem de pontos em uma malha tridimensional, que pode ser texturizada com as imagens capturadas.

3.3.6.2.3 Ortomosaico

Além do modelo 3D, o processamento das imagens também pode resultar em um ortomosaico da fachada. Oliveira e Santos (2022) explicam que o ortomosaico é uma imagem composta onde todas as fotografias individuais são corrigidas geometricamente para eliminar distorções causadas pela perspectiva, resultando em uma representação plana e precisa da fachada. Este produto é particularmente útil para a documentação e análise bidimensional da estrutura.

Na fotogrametria, a ortoimagem é uma representação retificada e corrigida geometricamente de uma imagem aérea ou terrestre, projetada de forma ortogonal ao terreno. Essa correção elimina distorções de perspectiva, inclinação e relevo,

fornecendo uma visualização precisa da superfície terrestre em duas dimensões.

Ortoimagens são fotografias que foram corrigidas de distorções devido à inclinação da câmera durante o levantamento fotográfico, distorções da lente da câmera e distorções de relevo (RABIU; WAZIRI, 2014).

As ortimagens fornecem uma base cartográfica de alta precisão, permitindo a representação detalhada da superfície terrestre, elementos naturais e artificiais.

3.3.7 Análise dos Resultados

Com o modelo tridimensional ou a ortofoto gerados, é possível realizar a análise detalhada das condições da fachada. A análise dos resultados envolve a comparação do modelo gerado com medidas reais da fachada, garantindo que a precisão esteja dentro dos limites aceitáveis para o projeto. Os resultados devem considerar a detecção de anomalias, como fissuras, descolamento de revestimentos e corrosão, que podem ser identificadas com alta precisão nos modelos gerados. Esta etapa é crucial para a tomada de decisões de manutenção e reparo.

3.4 LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO E APOIO GEODÉSICO

Para contemplar todas as etapas do fluxo do levantamento fotogramétrico de inspeção de fachada com uso de drones e gerar os produtos fotogramétricos, são necessários a aplicação de técnicas que envolvem conceitos fotogramétricos, topográficos, geodésicos e analíticos em relação à observação dos elementos presentes na fachada.

Ao longo dos anos, a topografia passou por uma evolução significativa devido ao avanço da tecnologia. A introdução de instrumentos de medição eletrônicos, como estações totais e receptores GNSS (Global Navigation Satellite System), revolucionou a forma como os dados topográficos são coletados. Esses avanços permitiram uma coleta mais eficiente e precisa de dados, reduzindo o tempo e o esforço necessários para realizar levantamentos topográficos.

Segundo Machado et al. (2019), o mapeamento topográfico provê a base fundamental para o conhecimento do território.

De acordo com Boscatto (2014), o apoio geodésico são pontos materializados

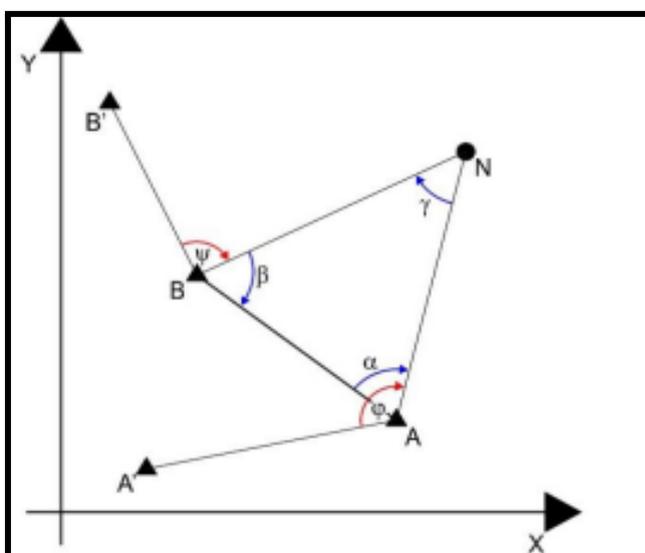
no terreno com o objetivo de fornecer dados planimétricos, altimétricos e planialtimétricos referenciados ao datum do país, proporcionando o controle de posicionamento dos levantamentos de campo. Ainda de acordo com Boscatto (2014), o apoio geodésico consiste em pontos materializados no terreno com o objetivo de dar suporte aos levantamentos topográficos.

3.4.1 Método de Interseção a Vante

O método de interseção à vante já é bastante empregado no levantamento geodésico de coordenadas de pontos inacessíveis, principalmente quando se dispõe apenas de inclinação de ângulos (FRANÇA; SEIXAS et al., 2020). Portanto, este método é utilizado quando se pretende determinar as coordenadas de um ponto de coordenadas desconhecidas a partir de duas ou mais coordenadas conhecidas. Na prática, o método da interseção à vante é aplicado medindo-se as direções para o ponto em que se deseja determinar as coordenadas, a partir de pontos de coordenadas conhecidas (OLIVEIRA; VERÔNICA; SEIXAS, 2006).

A Figura 1, demonstra o caso onde estão sendo utilizadas coordenadas dos vértices A ($X_A; Y_A$) e B ($X_B; Y_B$) para determinar as coordenadas do ponto N ($X_N; Y_N$), através de dois ângulos observados e duas distâncias.

Figura 1: Exemplo do método de Interseção a Vante.



Fonte: imagem adaptada de KAHMEN; FAIG, 1988.

A formulação matemática para determinar as coordenadas do ponto N são:

$$\bullet X_n = X_a + AN \times \text{sen}(AzAN) = X_b + BN \times \text{sen}(AzBN) \quad (1)$$

$$\bullet Y_n = Y_a + AN \times \text{sen}(AzAN) = Y_b + BN \times \text{sen}(AzBN) \quad (2)$$

$$\bullet AzAN = AzAA' + \varphi - 180^\circ \quad (3)$$

$$\bullet AzBN = AzBB' + \psi - 180^\circ \quad (4)$$

$$\bullet AzAA' = \text{ArcTang} \frac{\Delta X}{\Delta Y} \quad (5)$$

$$\bullet AzBB' = \text{ArcTang} \frac{\Delta X}{\Delta Y} \quad (6)$$

$$\bullet \Delta X = X_{A'} - X_A = X_{B'} - X_B \quad (7)$$

$$\bullet \Delta Y = Y_{A'} - Y_A = Y_{B'} - Y_B \quad (8)$$

Onde:

$AzAA'$ – azimute de AA' ; (Azimute anterior ao ponto)

$AzBB'$ – azimute de BB' ; (Azimute anterior ao ponto)

$AzAN$ – azimute de AN ;

$AzBN$ – azimute de BN ;

AN – distância observada de A para N;

BN – distância observada de B para N;

φ – ângulo medido entre as direções AA' e BB' ;

ψ – ângulo medido entre as direções BB' e BN .

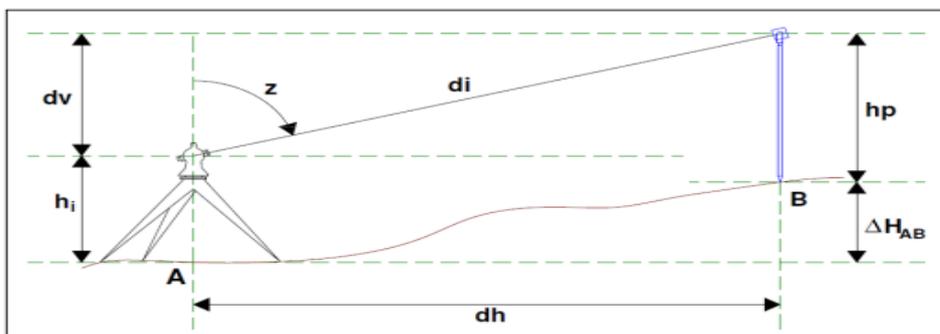
3.4.2 Nivelamento Trigonométrico

O nivelamento trigonométrico é uma técnica geodésica fundamental utilizada para determinar diferenças de altura entre pontos de interesse. De acordo com Silva e Segantine (2015), a determinação da diferença das altitudes entre os pontos é feita a partir de medições de distâncias horizontais ou inclinadas, e ângulos verticais ou zenitais entre os mesmos.

Segundo Silva (2012), o nivelamento trigonométrico baseia-se na resolução

de um triângulo retângulo (Figura 2).

Figura 2: Desnível entre os pontos A e B.



Fonte: Adaptado de Silva, R. N. F., 2012.

Onde:

di : distância inclinada;

dh : distância horizontal;

dv : distância vertical entre o centro óptico do equipamento e o plano horizontal que passa o centro do alvo;

z : ângulo vertical zenital de A para B;

h_i : altura do instrumento;

h_p : altura do alvo ou prisma refletor;

ΔH_{AB} : desnível de A para B;

H : Altitude do ponto (cota).

Para determinar o desnível entre o ponto A e o ponto B, têm-se as seguintes equações:

$$\bullet \quad dv = di \times \cos(Z) \quad (9)$$

$$\bullet \quad \Delta H_{AB} = h_i + dv - h_p \quad (10)$$

Substituindo (9) em (10), o desnível do ponto A até o ponto B, é calculado a partir da equação (11):

- $\Delta H_{AB} = di \cos(Z) + h_i - h_p$ (11)

- $H_B = \Delta H_{AB} + cota_A$ (12)

3.4.3 Levantamento GNSS por Posicionamento Absoluto e Processamento PPP

O posicionamento absoluto com processamento PPP (Precise Point Positioning) é uma técnica avançada que usa dados GNSS para determinar com alta precisão a posição de um ponto em relação a um sistema de coordenadas global. O PPP é um método de posicionamento que se diferencia do posicionamento relativo, pois não requer uma estação base próxima. Segundo Zhang e Li (2014), o PPP se distingue pelo seu uso de dados precisos fornecidos por centros de processamento para determinar a posição com alta exatidão.

O PPP oferece várias vantagens, como alta precisão na determinação das coordenadas e a capacidade de operar em qualquer local sem a necessidade de uma estação base próxima. Kaplan e Hegarty (2005) destacam que o PPP pode alcançar precisão na faixa de centímetros ou até milímetros, tornando-o adequado para aplicações de alta precisão.

Para alcançar alta precisão no PPP, é essencial utilizar correções precisas fornecidas por centros de processamento como o IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). O IBGE fornece correções GNSS e dados precisos para o Brasil, o que é crucial para a eficácia do PPP. Zhang e Li (2014) ressaltam a importância dessas correções na obtenção de coordenadas precisas e confiáveis.

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) o funcionamento do PPP é dado da seguinte forma:

1. Coleta de Dados:

- **Receptor GNSS:** Um receptor GNSS coleta dados brutos dos sinais de satélites. Esses dados incluem informações sobre a pseudodistância e a fase da portadora dos sinais GNSS.

2. Correção e Processamento:

- **Correções Precisas:** O PPP utiliza correções precisas de órbita e relógio fornecidas por centros de processamento de dados para corrigir erros sistemáticos e melhorar a precisão do posicionamento.
- **Processamento de Dados:** Após a coleta, é necessário apenas que o usuário informe o arquivo de observação no formato RINEX ou HATANAKA, se o levantamento foi realizado no modo estático ou cinemático, o modelo e a altura da antena utilizada, e um e-mail válido, os dados são processados utilizando software especializado que aplica as correções para calcular a posição com alta precisão. O IBGE-PPP processa dados GNSS (GPS e GLONASS) que foram coletados por receptores de uma ou duas frequências no modo estático ou cinemático.

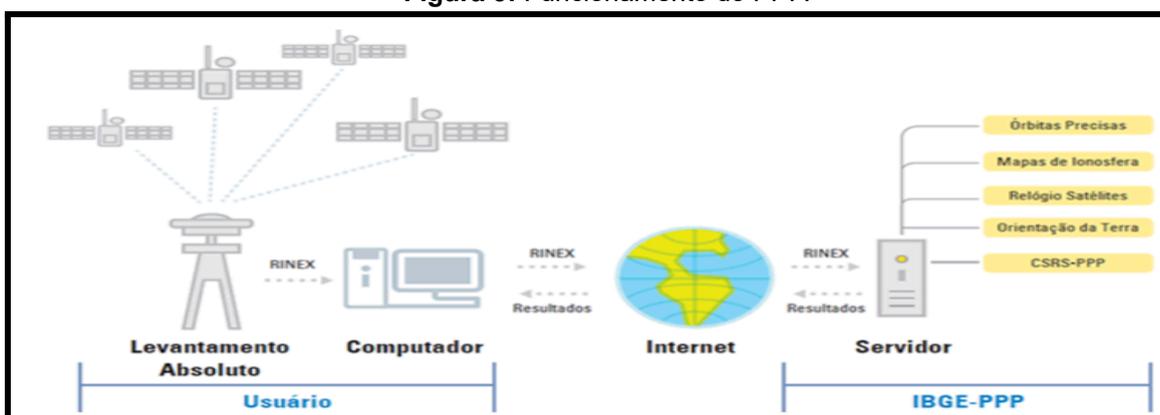
3. Geração de Resultados:

- O resultado é uma coordenada geodésica precisa, que pode ser em termos de latitude, longitude e altitude, ou em um sistema de coordenadas local. Os resultados são fornecidos através de relatórios

fornecidos através de um link enviado para o email informado.

A Figura 3, é apresentado o funcionamento do PPP de acordo com o IBGE:

Figura 3: Funcionamento do PPP.



Fonte: Imagem adaptada Blog Professor Adenilson, disponível em:
<https://adenilsongiovannini.com.br/blog/posicionamento-por-ponto-preciso/>

3.5 MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS

As manifestações patológicas na construção civil são defeitos apresentados no decorrer da construção de uma obra ou ainda adquiridas com o passar do tempo, as quais trazem prejuízos ao desempenho esperado de uma edificação e das suas partes em particular (SOUZA, 2021).

As manifestações patológicas são cada vez mais frequentes, ocorrem devido a inúmeras falhas nas construções e podem aparecer por diferentes motivos (FERREIRA; LOBÃO, 2018). As patologias podem apresentar diferentes características e tipos como fissuração, desagregação, deslocamentos e eflorescências que causam danos e desvalorização do sistema construtivo.

Segundo Carvalho et al. (2017), o conceito de patologia nas construções diz respeito ao baixo desempenho da estrutura ou ao fim do mesmo, no que refere-se à estabilidade, estética, servicibilidade e, principalmente, a vida útil do empreendimento.

Os problemas patológicos normalmente têm origem em algum erro ou falha cometida em ao menos uma das fases do projeto (FERREIRA; LOBÃO, 2018).

As principais causas de patologias são as deficiências de projeto, deficiências de execução, má qualidade dos materiais, ou emprego inadequado dos mesmos, uso inadequado da estrutura e manutenção imprópria (FERREIRA; LOBÃO, 2018).

3.5.1 Manifestações Patológicas em Fachadas

A manifestação de patologias em fachadas de edifícios é um problema comum e desafiador enfrentado pela indústria da construção civil. Essas manifestações podem comprometer não apenas a estética das fachadas, mas também a segurança estrutural e o desempenho dos edifícios como um todo.

No caso específico de fachadas de edifícios, o processo de inspeção torna-se ainda mais minucioso porque algumas variáveis como altura, dificuldades de acesso e condições de exposição devem ser consideradas (SOUZA et al., 2021).

Entre os vários fatores que acarretam o surgimento dos sintomas estão também processos naturais como as intempéries. Isso se deve ao fato de o edifício estar exposto às mais variadas temperaturas, à ação de ventos e das chuvas, por

exemplo (OLIVEIRA et al., 2020).

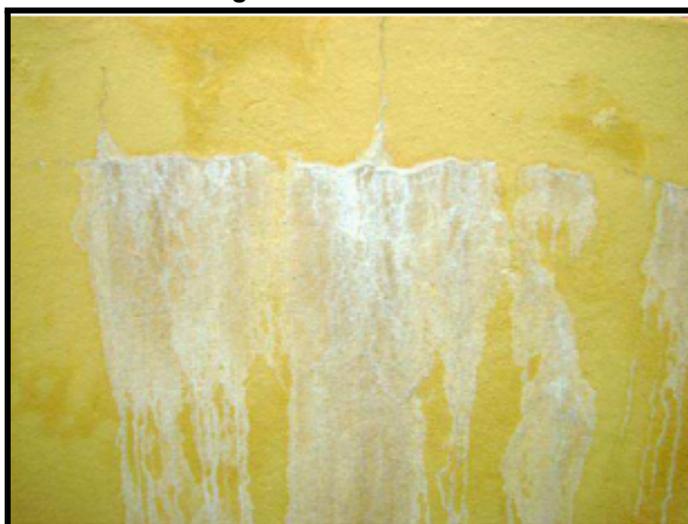
Portanto, as edificações, assim como qualquer outro elemento construtivo, sofrem degradações ao longo do tempo, e nas fachadas essas degradações apresentam-se de forma mais acelerada, de acordo com Tondelo e Barth (2019, p. 2),

Observa-se que os sistemas construtivos que compõem as fachadas podem apresentar degradações mais aceleradas que as partes externas protegidas do edifício, pois ficam diretamente expostas aos agentes ambientais. A altura dos edifícios e a falta de inspeção são outros fatores que podem acelerar a degradação invólucro das edificações, uma vez que a altura cria locais de difícil acesso e que demandam gastos com a locação de equipamentos e ferramentas para a realização de inspeção e manutenção.

A seguir, serão apresentados os principais sintomas identificados nos revestimentos das edificações:

- **Eflorescência:** São manchas esbranquiçadas (Figura 4) de sais precipitados nas camadas superficiais dos revestimentos que, além de prejudicar o aspecto estético, contribuem para a desagregação do revestimento (Souza, Anderson Lima de., 2021);

Figura 4: Eflorescência.



Fonte: (Souza, Anderson Lima de., 2021, p.17).

- **Mofo ou Bolor:** São manchas (Figura 5) que aparecem normalmente sobre a superfície e, por se tratar de um grupo de seres vivos (fungos, algas e bactérias) se proliferam em condições de clima favoráveis, como em ambientes úmidos, mal ventilados ou mal iluminados (Souza, Anderson Lima de., 2021).

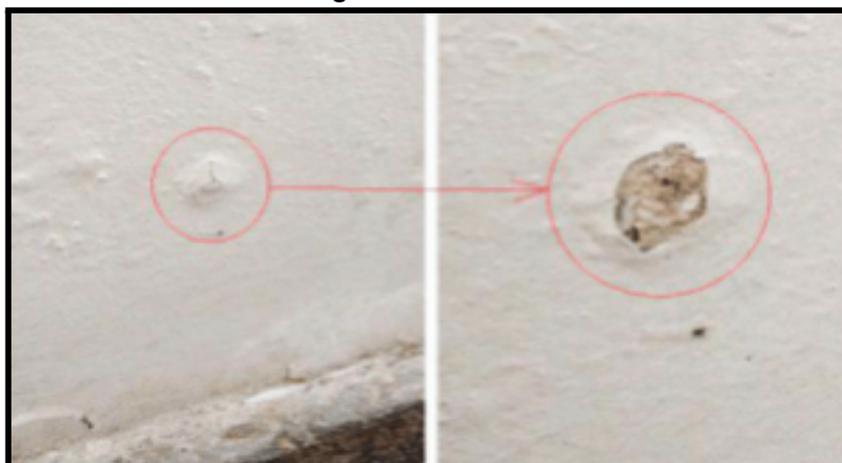
Figura 5: Mofo ou Bolor.



Fonte: (Souza, Anderson Lima de., 2021, p.18).

- **Vesículas:** Podem ser interpretadas como lacunas ou aberturas pontuais no reboco (Figura 6), provenientes dos óxidos não hidratados existentes na cal dolomítica. Destaca-se, em particular o óxido de magnésio, cuja hidratação é acompanhada da expansão gradativa (Souza, Anderson Lima de., 2021);

Figura 6: Vesículas.



Fonte: (Souza, Anderson Lima de., 2021, p.15).

- **Descolamento com empolamento:** Essa manifestação patológica ocorre quando, por conta da umidade, a superfície do reboco se desloca do emboço, apresentando a formação de bolhas (Figura 7), cujos diâmetros aumentam progressivamente (Souza, Anderson Lima de., 2021);

Figura 7: Descolamento com empolamento.



Fonte: (Souza, Anderson Lima de., 2021, p.15).

- **Deslocamento de placas:** É caracterizado quando parte do revestimento de argamassa se desloca envolvendo geralmente o reboco e o emboço (Figura 8), ocorrendo assim a ruptura na ligação entre as camadas e alvenaria, ou seja, a base (Souza, Anderson Lima de., 2021);

Figura 8: Deslocamento de placas.



Fonte: (Souza, Anderson Lima de., 2021, p.13).

- **Descolamento com pulverulência:** Essa patologia pode ser destacada pela desagregação e conseqüentemente o “esfarelamento” da argamassa ao ser pressionada manualmente (Figura 9). O sinal mais frequente de pulverulência é a desagregação ao ser manualmente pressionada (Souza, Anderson Lima de., 2021);

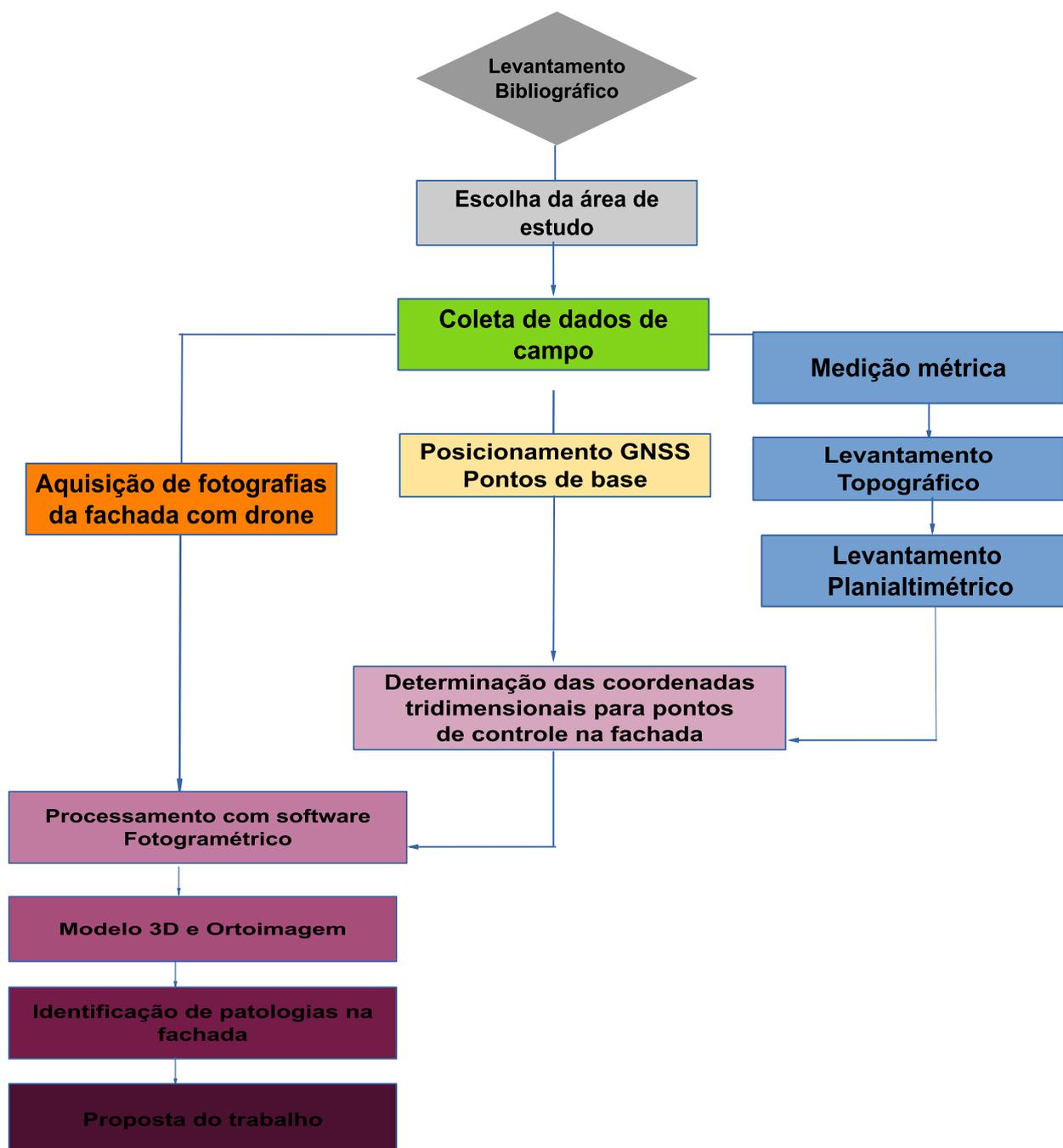
Figura 9: Descolamento com pulverulência.



Fonte: (Souza, Anderson Lima de., 2021, p.14).

4 METODOLOGIA

Nesta seção, será apresentado a metodologia aplicada neste trabalho para a obtenção dos resultados finais, através do fluxograma.

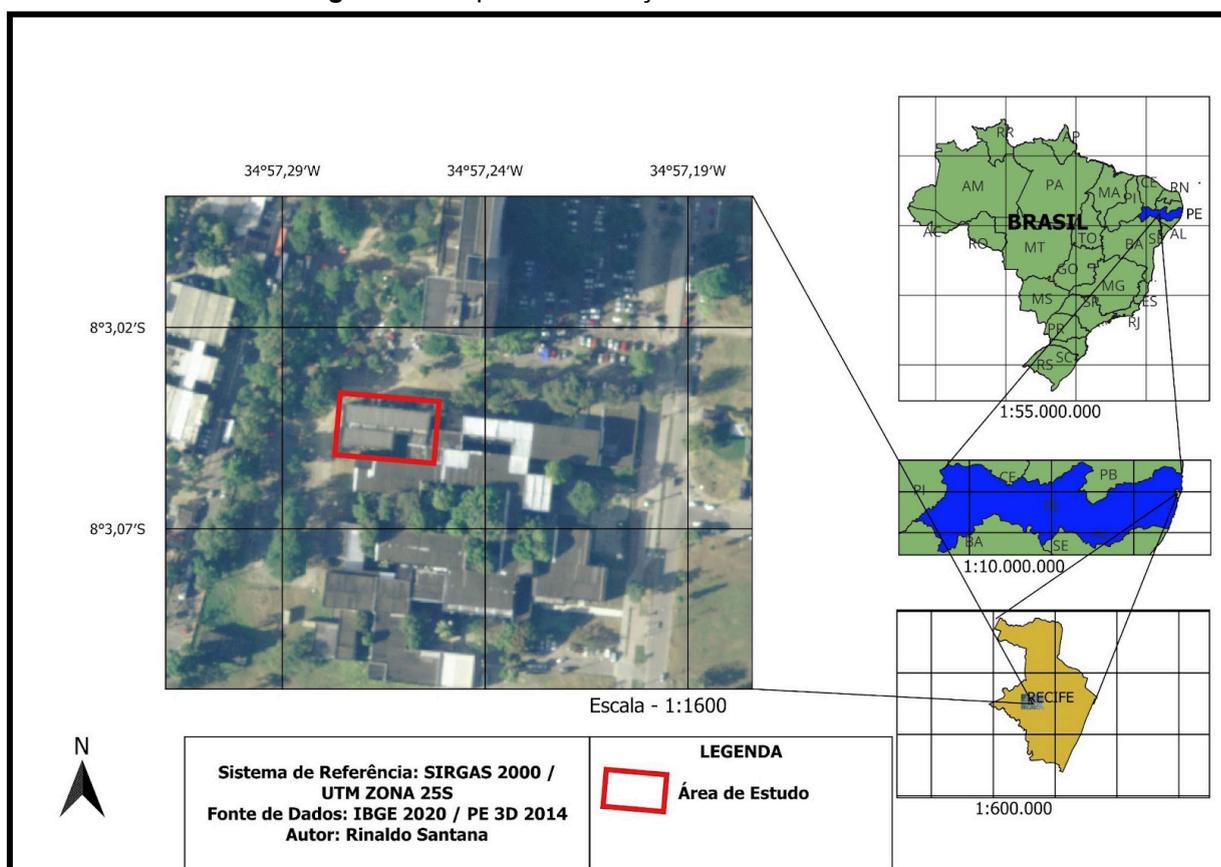


4.1 ÁREA DE ESTUDO

Para a aplicação dos objetivos propostos, a área de estudo escolhida para este trabalho, é uma fachada predial localizada dentro do domínio do campus universitário da Universidade Federal de Pernambuco, situado na cidade de Recife, em Pernambuco.

O local de estudo fica no prédio do Centro de Artes e Comunicação (CAC). A fachada de pesquisa está posicionada no lado norte do referido prédio, e é composta por marquises e janelas por toda sua extensão. A Figura 10 apresenta o mapa de localização.

Figura 10: Mapa de localização da área de estudo.



Fonte: Autor 2024

4.2 MEDIÇÃO MÉTRICA

Esta etapa do trabalho de campo, teve como objetivo realizar o levantamento métrico de detalhes específicos da fachada para que fossem comparados com as medidas adquiridas a partir do modelo construído com o software fotogramétrico. Foi utilizado uma trena milimetrada de fibra de vidro, com comprimento máximo de 15.000 mm, e coletado as medidas horizontais, verticais e de profundidade dos principais elementos construtivos da fachada, como por exemplo: esquadrias das janelas e aparelhos de ar condicionado.

4.3 POSICIONAMENTO GNSS

Para determinar pontos de base que servirão de georreferência do levantamento planialtimétrico para a coleta dos pontos de controle da fachada, foram materializados dois pontos de apoio e coletadas as coordenadas geodésicas a partir do levantamento GNSS por posicionamento absoluto descrito na seção 3.3.3 deste trabalho .

No dia 01/04/2023, os dois pontos de base foram coletados com o receptor GNSS POLARIS S100 de dupla frequência (L1/L2), utilizando a pseudodistância e fase das ondas portadoras L1 e L2, com a técnica posicionamento por ponto preciso (PPP). Após a escolha da localização dos dois pontos base e configuração do equipamento, a coleta dos pontos seguiu as seguintes etapas:

- 1- O receptor foi posicionado em frente à fachada de estudo, e os pontos foram denominados de P1 e P2, ambos com distância aproximada de 20 metros em relação a fachada, e distância de 11 metros entre si. A distância dos pontos em relação à fachada, foi uma escolha para que posteriormente facilite a visualização dos pontos de controle da fachada com a estação total. A Figura 11 mostra os receptores posicionados em frente a fachada para o rastreamento

Figura 11: Receptores GNSS rastreando os pontos P1 e P2..



Fonte: Autor 2024.

O tempo de rastreamento dos receptores estão descritos na tabela 1:

Tabela 1: Tempo de rastreamento dos receptores.

Vértice	Tempo
P1	00:57:25
P2	01:13:48

Fonte: Autor 2024.

2- O processamento dos dados brutos foi efetuado através da ferramenta PPP disponibilizado pelo IBGE, que pode ser acessado através do link: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-sobre-posicionamento-geodesico/servicos-para-posicionamento-geodesico/16334-servico-online-para-pos-processamento-de-dados-gnss-ibge-ppp.html?=&t=processar-os-dados>.

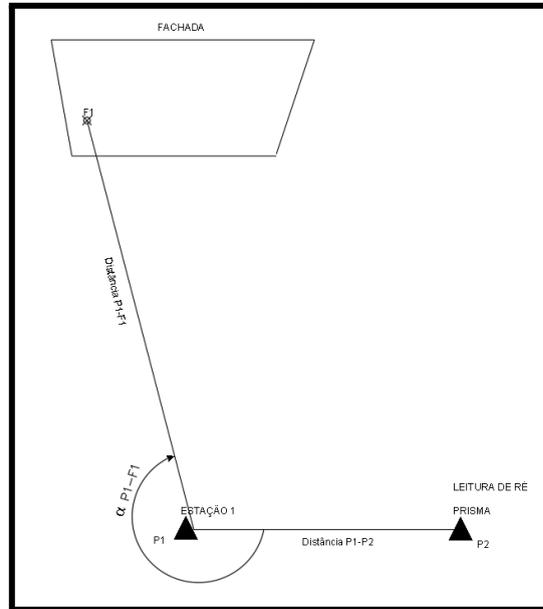
4.4 LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO

Para o levantamento topográfico de determinação dos pontos de controle da fachada, foram realizadas medições angulares e lineares de cada ponto de controle determinado na fachada. O levantamento topográfico foi realizado no dia 05/08/2023, e utilizado uma estação total Sanding instalada e nivelada sobre o marco materializado no levantamento geodésico, um bastão com prisma nivelado e apoiado sobre o segundo marco materializado no levantamento geodésico, uma trena graduada no milímetro e dois tripés de metal.

Foi executado um levantamento de interseção espacial, que engloba o método de interseção a vante e levantamento trigonométrico, citado no item 3.3.1 e item 3.3.2, e na área de estudo, o levantamento prosseguiu na seguinte sequência:

1. A estação total foi nivelada e centrada sobre o marco denominado de P1, a altura da estação foi devidamente anotada em caderneta de campo, o bastão prisma foi nivelado sobre o marco denominado de P2, a altura do bastão foi devidamente anotada em caderneta de campo;
2. Com a estação em P1, o equipamento foi apontado para o prisma em P2 e a leitura do visor foi zerado, logo foram feitas as leitura lineares (distâncias) e as leituras angulares (ângulo horizontal e vertical), estas leituras foram devidamente anotadas em caderneta de campo e armazenada na memória interna da estação total;
3. A partir da primeira leitura no bastão com prisma posicionado em P2, deu sequência na leitura dos pontos de controle naturais da fachada, onde a leitura de ré é efetuada no bastão com prisma sobre o marco P2, e a leitura de vante no seguinte ponto de controle, desta forma, foram feito a leitura de 15 pontos de controle naturais na fachada. A Figura 12 demonstra como foi efetuado a leitura para cada ponto:

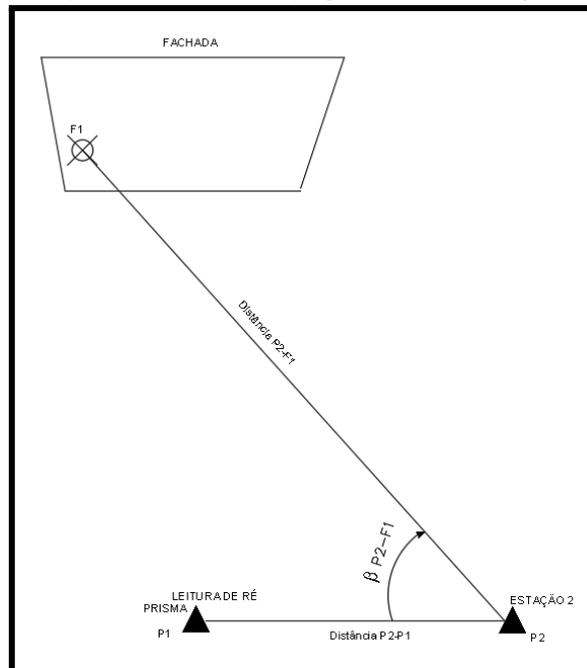
Figura 12: croqui levantamento topográfico com estação no ponto P1.



Fonte: Autor 2024.

4. Repetindo o mesmo levantamento, desta vez, a estação total foi nivelada e centrada sobre o marco P2, e o bastão com prisma foi nivelado sobre o marco P1 e a leitura do visor foi zerada, e assim feito a leitura dos mesmos 15 pontos de controle da fachada seguindo o mesmo método do item anterior. A Figura 13 demonstra como foi efetuado a leitura para cada ponto:

Figura 13: croqui levantamento topográfico com estação no ponto P2.



Fonte: Autor 2024.

4.5 DETERMINAÇÃO DE COORDENADAS TRIDIMENSIONAIS DA FACHADA

A partir do levantamento topográfico, as coordenadas tridimensionais foram calculadas utilizando os dados coletados, tais como: ângulos horizontais, ângulos verticais, distâncias inclinadas. Foi utilizado o software livre Planilhas Google para o cálculo matemático das coordenadas, seguindo a seguinte sequência:

- Determinação de azimutes iniciais entre os pontos P1 e P2; P2 e P1: A partir dos dados de coordenadas conhecidas dos pontos P1 e P2 que foram determinadas no levantamento geodésico, foi calculado os azimutes de partida, e assim prosseguir o transporte de coordenadas para os pontos de controle da fachada. A fórmula matemática utilizada para o cálculo dos azimutes de partida é descrito no item 3.3.1, equações (5), (6), (7) e (8);
- Transporte de Azimutes: A partir dos azimutes iniciais determinados no item anterior, a sequência de transportes de azimutes dos pontos de controle da fachada é dado utilizando as equações (3) e (4) do item 3.3.1 da seção 3 deste trabalho;
- Transporte de Coordenadas planas: A partir dos azimutes calculados de cada ponto de controle da fachada, a sequência de transporte de coordenadas planas é dado utilizando as equações (1) e (2) do item 3.3.1 da seção 3 deste trabalho;
- Diferença de nível entre os pontos e cota dos pontos de controle: A partir dos dados de distância inclinada, ângulo vertical zenital, altura do instrumento, altitude do ponto P1 e P2 coletados no levantamento topográfico e posicionamento GNSS respectivamente, a diferença de nível entre os pontos P1 e pontos da fachada, e do ponto P2 e pontos da fachada, é dado utilizando as equações (9), (10), (11) e (12) do item 3.3.2 da seção 3 deste trabalho.

4.6 AQUISIÇÃO DE FOTOGRAFIAS COM DRONE

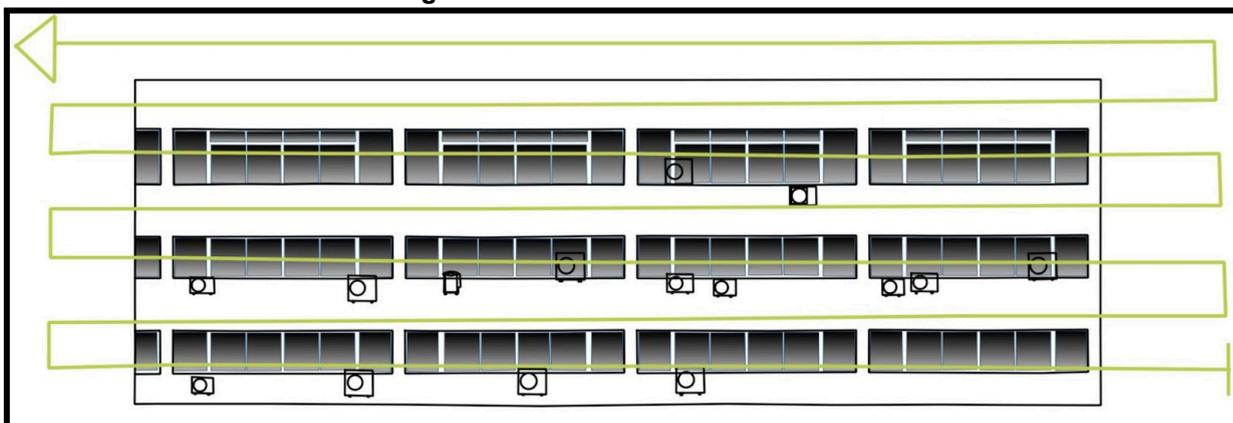
Para cumprir o objetivo deste trabalho, o levantamento de imagens da fachada é o processo principal e o de maior importância, pelo fato de interferir diretamente na precisão dos resultados esperados.

Para a aquisição de imagens da fachada de estudo, foi utilizado o drone Phantom 4 Advanced com câmera digital embarcada modelo DJI FC6310, com sensor CMOS de 1", com resolução de até 20 MP (5.472 x 3.078 pixels), pixel com 2,526 μm , e distância focal de 8mm / 24mm.

A primeira tomada de imagem foi a uma distância aproximada de 10 m à fachada (objeto) de interesse. O objetivo da tomada de fotos, foi o recobrimento total da fachada de estudo, que foi feito a partir de um voo manual com o drone, ou seja, sem a devida programação automatizada que os drones possuem em seus diversos softwares de planejamento de voo. Foram feitas duas etapas de tomadas de fotos para cada distância em relação à fachada:

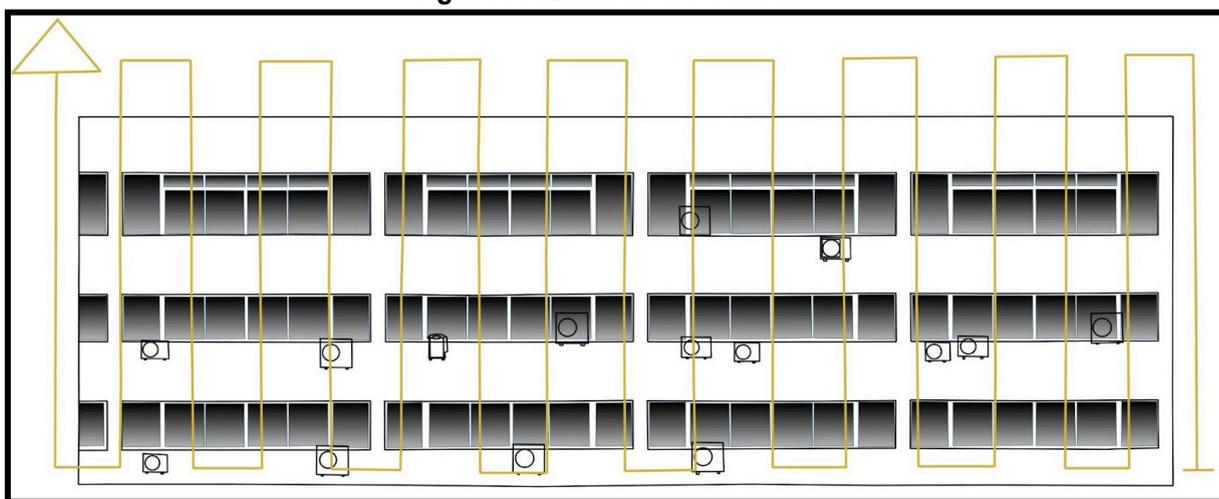
- Primeira etapa: o drone teve a câmera posicionada ortogonalmente ao objeto imageado, neste caso específico, a fachada;
- Segunda etapa: o drone ficou com a câmera posicionada de forma oblíqua em relação a fachada, assim adquirindo fotos de ângulos diferentes.

Para a primeira etapa do voo, como citado anteriormente, o voo teve início com o drone posicionado com a primeira configuração de teste, uma distância de 10 metros da fachada e a uma altura em relação ao solo de aproximadamente 2 metros, a linha de voo foi na posição horizontal da fachada, como demonstrado na Figura 14, visando sobreposição de aproximadamente 90% entre as imagens, e as imagens foram tomadas mudando o drone de posição sobre a linha horizontal imaginária, e a cada fim de limite da fachada, o drone tinha sua altura alterada em relação a anterior para aproximadamente 1,5 metros, e assim repetindo o processo até cobrir todo limite da fachada de estudo.

Figura 14: Linha de voo horizontal.

Fonte: Autor 2024

Em seguida, foi repetido o voo com o mesmo parâmetro de distância em relação a fachada, porém, a linha de voo desta vez foi na posição vertical, como demonstrado na Figura 15, visando sobreposição de aproximadamente 90% entre as imagens, e as imagens foram tomadas mudando o drone de posição sobre a linha vertical imaginária, e a cada fim de limite da fachada, o drone tinha sua distância horizontal alterada para aproximadamente 1,5 metros.

Figura 15: Linha de voo vertical.

Fonte: Autor 2024.

Ao término da etapa anterior, foram tomadas imagens na posição oblíqua em relação a fachada, buscando ângulos diferentes, que possam capturar detalhes de profundidade dos elementos construtivos presentes na fachada.

Este processo de tomada de imagens foi repetido, mas desta vez, o drone foi posicionado para o parâmetro de distância de aproximadamente 5 m em relação à

fachada. Este segundo processo foi feito para poder ser definido qual melhor configuração do voo para a inspeção de fachada com drones.

4.7 PROCESSAMENTO COM SOFTWARE FOTOGRAMÉTRICO

Após a aquisição das imagens, iniciou-se o processo de aquisição dos produtos fotogramétricos digitais, que neste caso, será a ortoimagem georreferenciada com todos os detalhes da fachada.

O processamento foi realizado utilizando um computador tipo desktop, com sistema operacional Windows 11 de 64 bits, processador AMD Ryzen 3 3200G, 3.6GHz, memória RAM DDR4 de 16GB, armazenamento interno de 500GB e placa gráfica AMD MSI Radeon RX 570 Armor 8GB OC GDDR5. O software utilizado para processar os dados fotográficos foi o Pix4DMapper, dado esta escolha devido ao Departamento de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura da UFPE possuir licença válida do mesmo.

Para realizar todo o processamento dos dados de captura das imagens e do pontos de controle no software, é necessário seguir as etapas descritas no fluxograma, Figura 16:

Figura 16: Fluxograma das etapas do trabalho.

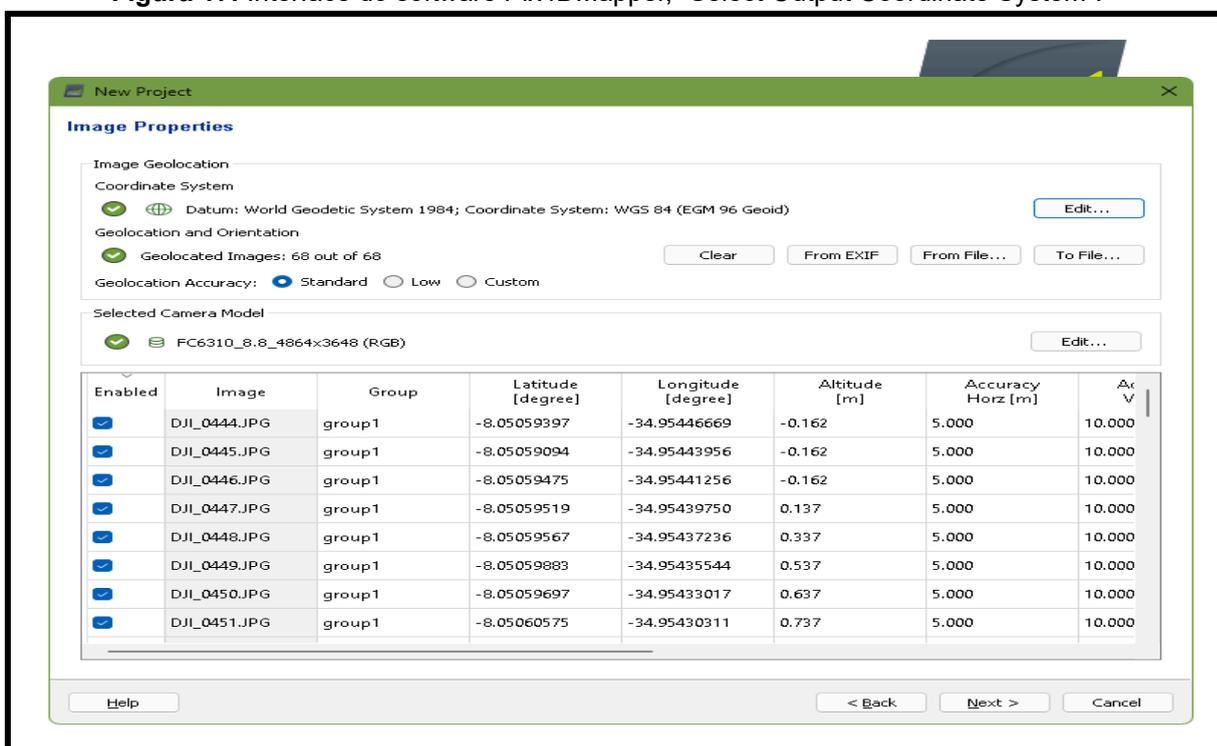


Fonte: Autor, 2024.

A primeira etapa consiste na **CONFIGURAÇÃO DO PROJETO**. nela, é criado um projeto com os parâmetros referente ao tipo de projeto e selecionado o sistema de coordenadas de saída. No software tem-se as seguintes definições:

- **New Project:** Esta etapa é criado um novo projeto no Pix4D, dando um nome apropriado e definindo a localização de salvamento do projeto.
- **Select Output Coordinate System:** Nesta etapa é definido o sistema de coordenadas de saída para o projeto, Figura 17, aconselhável escolher o sistema de coordenadas que corresponde ao seu levantamento de campo.

Figura 17: Interface do software Pix4DMapper, "Select Output Coordinate System".

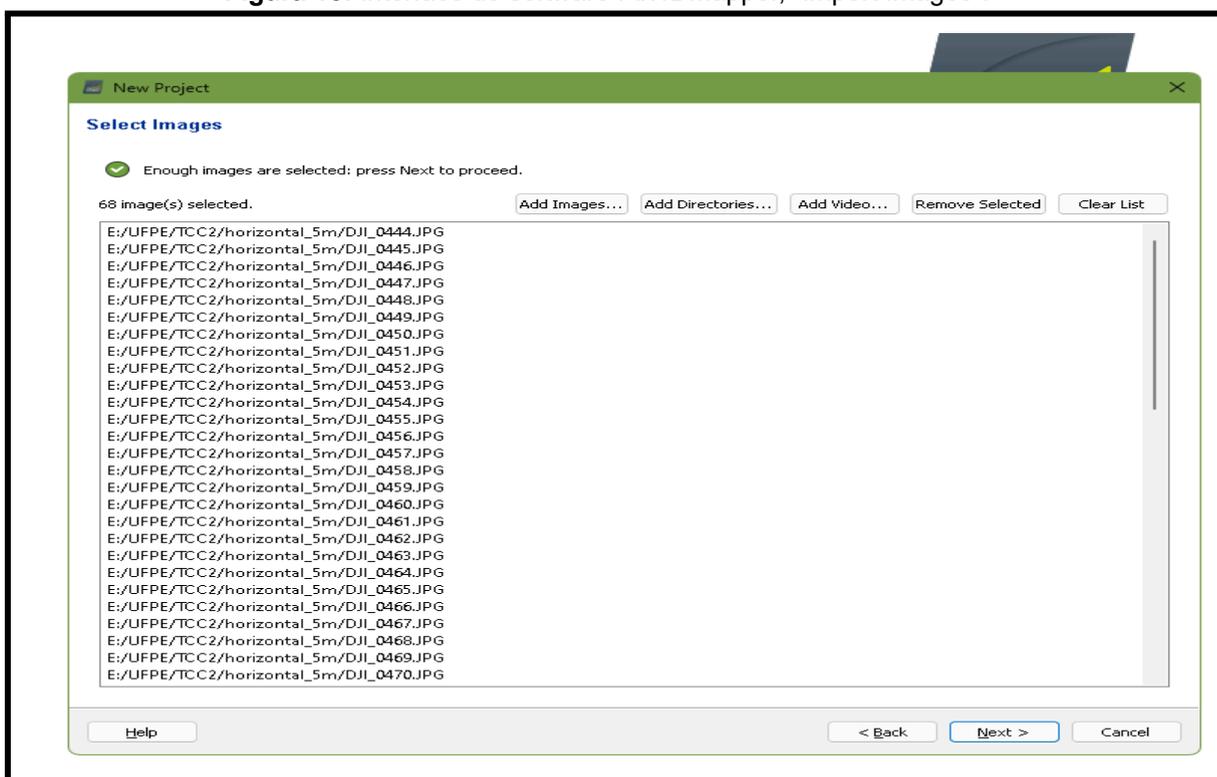


Fonte: Pix4DMapper, 2024.

A próxima etapa, é a **IMPORTAÇÃO DAS IMAGENS**, nela são adicionadas as imagens capturadas, baixadas do cartão de memória do drone, e verificados os metadados, bem como as demais propriedades das imagens, conforme mostrado a seguir:

- **Import Images:** Nesta etapa são importadas todas as imagens capturadas durante os voos. As imagens devem ter metadados GPS e EXIF para facilitar o processamento. A Figura 18, apresenta a janela do Software Pix4DMapper com esse comando de importação de imagens.

Figura 18: Interface do software Pix4DMapper, "Import Images".



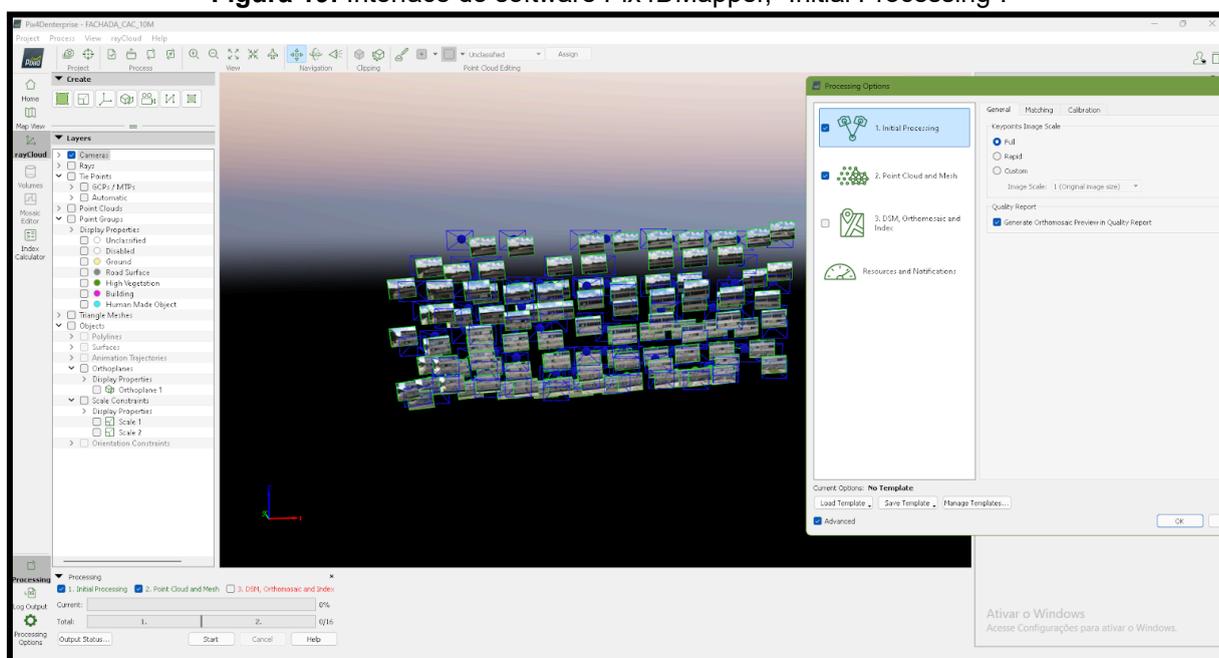
Fonte: Pix4DMapper, 2024.

Em seguida, segue-se o fluxo de trabalho do processamento das imagens, definido em três etapas, conforme ilustrado na Figura 19, na janela de interface do software e ao lado direito, sendo a primeira o **PROCESSAMENTO INICIAL**, que inclui as seguintes funcionalidades:

- **Initial Processing:** Esta etapa inclui a calibração da câmera, alinhamento das fotos, o processo de fototriangulação, a detecção de pontos-chave (keypoints) e a criação de um modelo inicial de baixa densidade.
 - **Calibration:** Ajuste dos parâmetros da câmera com base nos dados das imagens capturadas.

- **Keypoints:** Identificação automática de pontos distintos nas imagens que são usados para correlacionar diferentes fotos.
- **Image Matching:** Encontrar correspondências entre os pontos nas diferentes imagens.

Figura 19: Interface do software Pix4DMapper, “Initial Processing”.

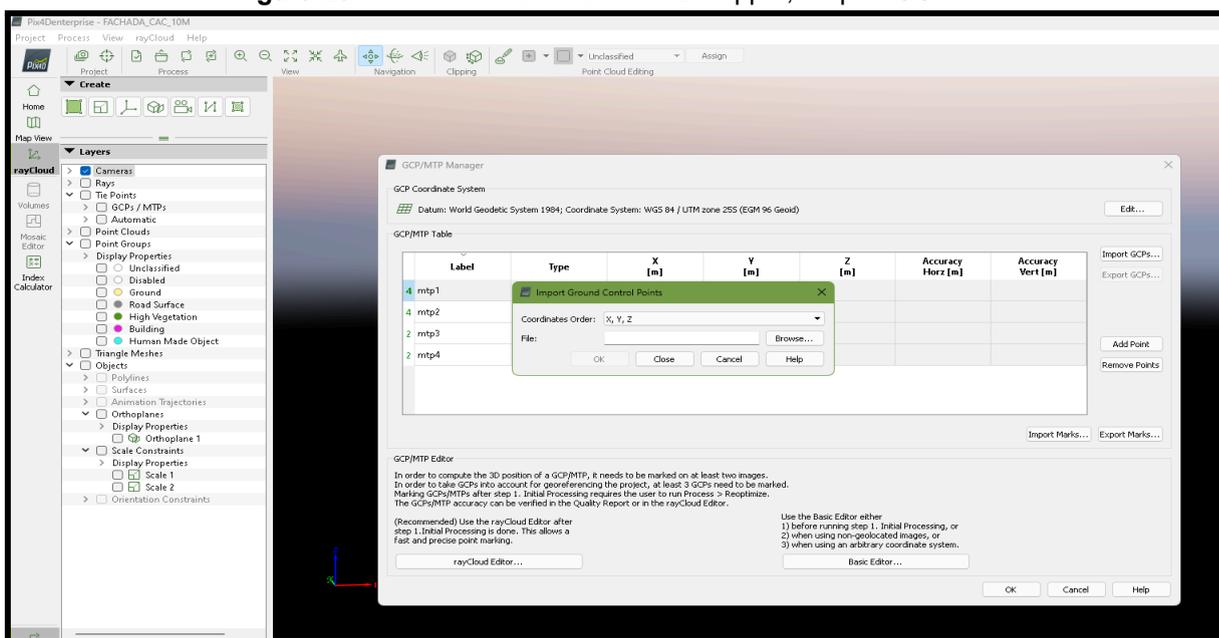


Fonte: Pix4DMapper, 2024.

Ainda na “Initial Processing, é realizada a **IMPORTAÇÃO E MARCAÇÃO DOS PONTOS DE CONTROLE - GCPs**, que consiste no georreferenciamento de todos os pontos fotogramétricos a partir dos pontos de controle (GCPs). Esse processo envolve a triangulação fotogramétrica, com pontos com coordenadas x, y, x determinadas em campo e com sua precisão conhecida. A partir destes pontos, importados no software, Figura 20, são determinadas e ajustadas as demais coordenadas dos pontos medidos automaticamente (keypoints e pontos medidos por correspondência de imagens, chamados de tie-points). Esses pontos têm suas coordenadas determinadas tridimensionalmente a partir do conhecimento da posição da câmera (centro de perspectiva e os parâmetros internos da câmera), visto calculado pelo algoritmo SfM, são recalculados e ajustados todas as coordenadas de todos os pontos, gerando uma nuvem de pontos 3D georreferenciada, Figura 21. As funções utilizadas para esta etapa, é descrita a seguir:

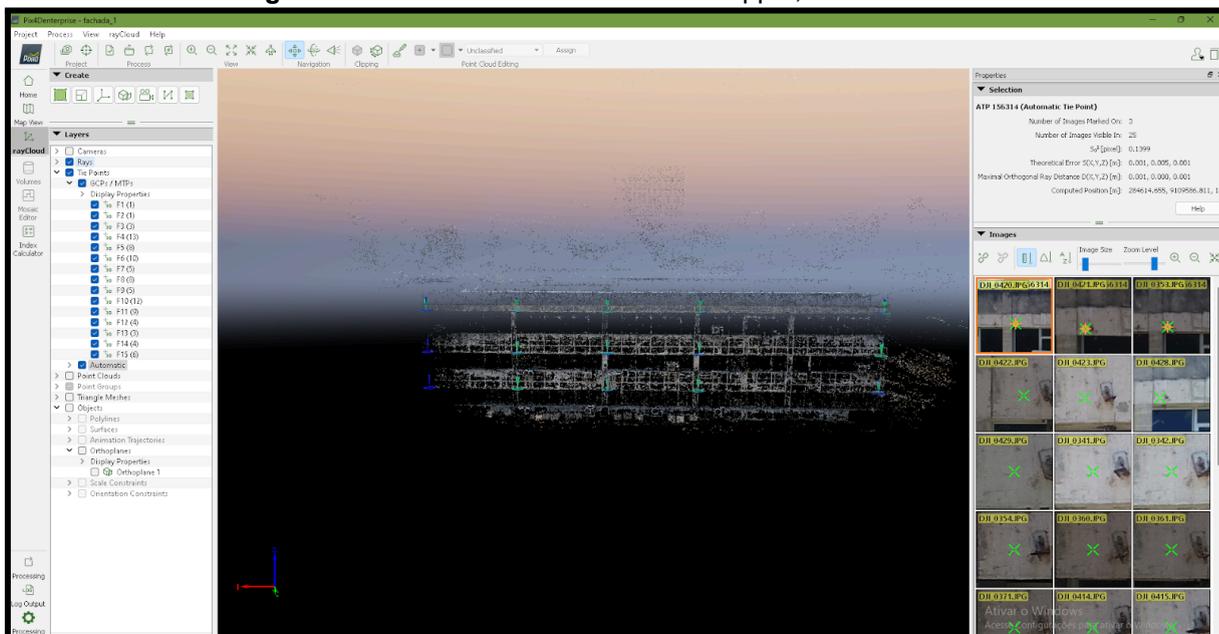
- **GCP (Ground Control Points):** Esta etapa serve se tiver pontos de controle medidos no campo. Isso aumentará a precisão geoespacial do modelo.
 - **Import GCPs:** Carrega o arquivo com as coordenadas dos GCPs.
 - **Mark GCPs:** Nesta etapa é necessário marcar manualmente os GCPs nas imagens. Isso ajuda o software a ajustar corretamente o modelo com base nos pontos de controle.

Figura 20: Interface do software Pix4DMapper, "Import GCPs".



Fonte: Pix4DMapper, 2024.

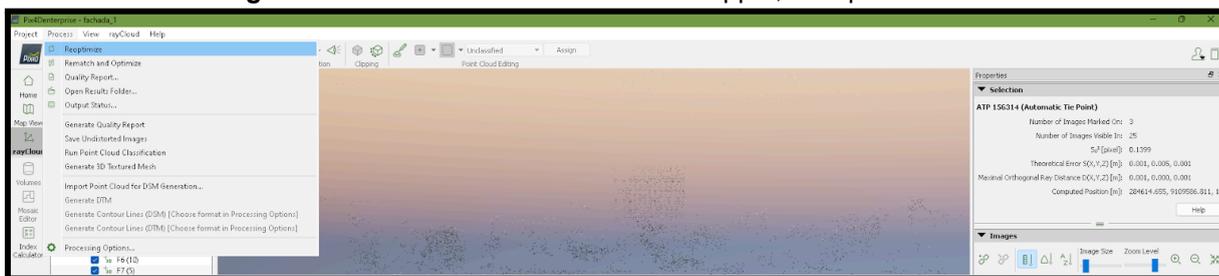
Figura 21: Interface do software Pix4DMapper, “Mark GCPs”.



Fonte: Pix4DMapper, 2024.

- **REPROCESSAMENTO PARA AJUSTE DOS GCPs:**
 - **Reoptimization:** Reotimiza o projeto para ajustar o modelo utilizando as coordenadas precisas dos GCPs, Figura 22.
 - **Bundle Block Adjustment:** Esta etapa ajusta as imagens e parâmetros da câmera para minimizar erros e alinhar corretamente as imagens usando os GCPs.

Figura 22: Interface do software Pix4DMapper, “Reoptimization”.



Fonte: Pix4DMapper, 2024.

- **GERAÇÃO DE NUVEM DE PONTOS DENSA:**
 - **Point Cloud and Mesh:** Esta etapa é responsável por gerar a nuvem de pontos densa a partir das imagens.
 - **Dense Point Cloud:** Conjunto de pontos 3D gerados a partir das múltiplas imagens, representando a superfície da fachada.

- **GERAÇÃO DO MODELO 3D TEXTURIZADO:**
 - **3D Textured Mesh:** Esta etapa cria um modelo 3D texturizado aplicando as imagens nas superfícies da malha.
 - **Texturing:** Projeção das imagens originais nas superfícies da malha para criar um modelo realista.

- **GERAÇÃO DE ORTOMOSAICO:**
 - **DSM, Orthomosaic and Index:** Nesta etapa, um Modelo Digital de Superfície (DSM) e um Ortomosaico são gerados.
 - **DSM (Digital Surface Model):** Modelo que representa a elevação de todos os objetos na superfície, incluindo detalhes da fachada.
 - **Orthomosaic:** Imagem ortorretificada composta por várias imagens, ajustadas para corrigir distorções e criar uma vista contínua da fachada.

- **ANÁLISE E EXPORTAÇÃO DOS RESULTADOS:**
 - **Quality Report:** Verifique o relatório de qualidade para assegurar que os dados processados são precisos.
 - **Export Results:** Etapa responsável em exportar os resultados finais, como o ortomosaico, nuvem de pontos, modelo 3D, etc., nos formatos desejados (e.g., GeoTIFF, LAS, OBJ).

5 RESULTADOS

Os resultados são descritos de acordo com a ordem proposta dos objetivos específicos e metodologia apresentada:

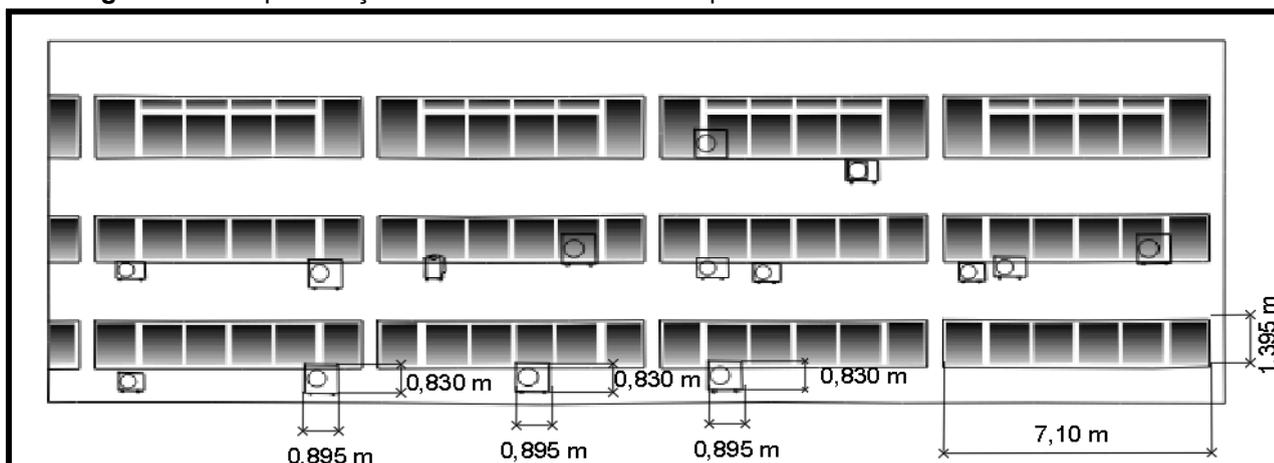
- A. Medição Métrica;
- B. Levantamento Geodésico;
- C. Levantamento Topográfico;
- D. Processamento Fotogramétrico;
- E. Identificação de Patologias;

A - MEDIÇÃO MÉTRICA

O processamento das imagens capturadas durante a inspeção da fachada foi realizado utilizando o software Pix4DMapper, reconhecido por sua eficácia na geração de modelos 3D e ortomosaicos de alta precisão. Ao contrário de abordagens que utilizam pontos de controle (GCPs) para aumentar a precisão do modelo, nesta etapa do trabalho optou-se por não utilizar GCPs. Em substituição, foram realizadas medições manuais com trena diretamente na fachada. Essas medições serviram como base de comparação para verificar a acurácia dos modelos digitais gerados, oferecendo um parâmetro de referência para ajustes e validações durante o processo de modelagem.

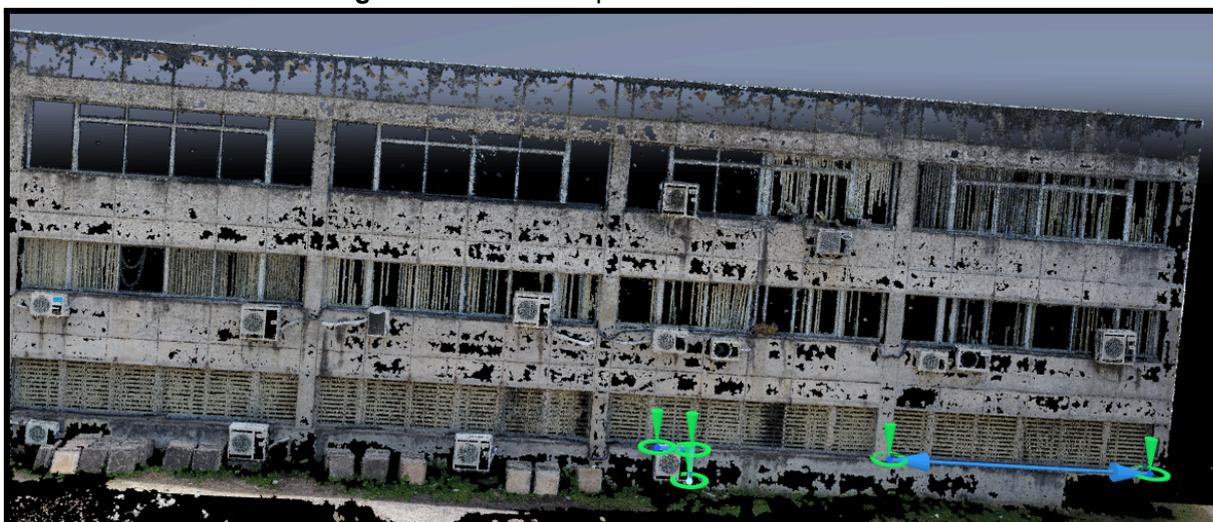
As medições feitas com trena foram inseridas manualmente no software e usadas para ajustar o modelo gerado. Sem os GCPs, o foco principal foi na comparação direta entre as dimensões obtidas no ortomosaico e as medições manuais feitas em campo, ou seja, se pode verificar a precisão relativa entre as medidas. A partir da Figura 23, é possível observar o croqui da fachada com os dados métricos mensurados em campo.

Figura 23: Croqui medição métrica efetuada em campo com auxílio de trena milimetrada.



Fonte: Autor, 2024.

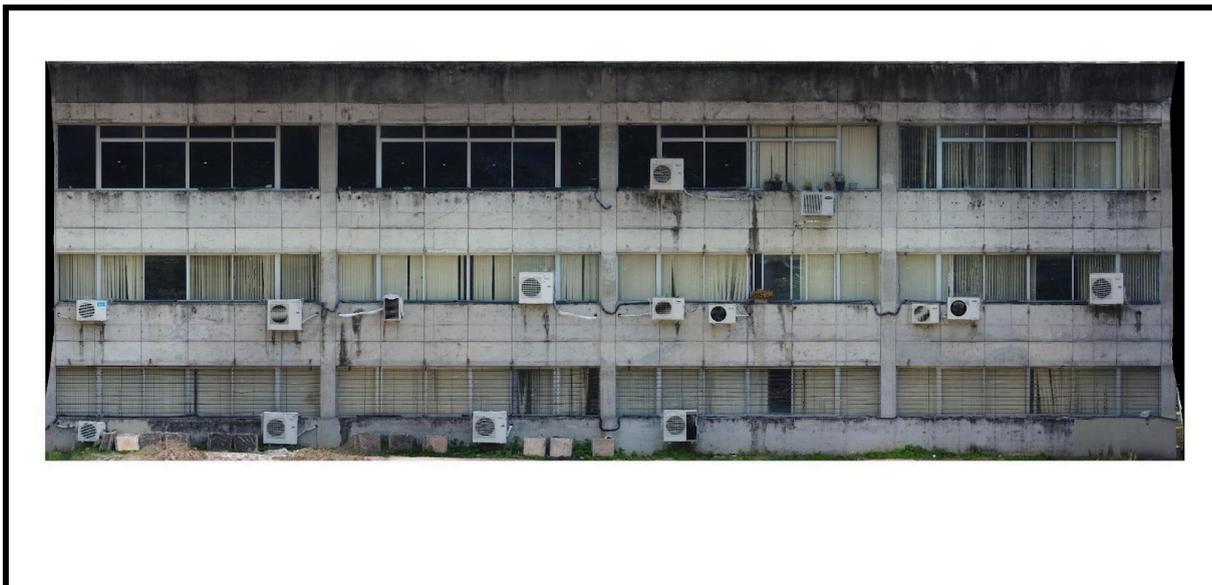
Figura 24: Nuvem de pontos - Escala manual.



Fonte: Pix4DMapper, 2024.

A Figura 24 mostra a nuvem de pontos com a marcação de pontos de amarração manual, que são escalas métricas utilizadas para gerar um sistema de coordenadas, sem o uso de pontos de controle (GCPs). Esta escala servirá para que a imagem tenha medidas métricas próximas das medidas realizadas em campo (Figura 23).

Figura 25: Ortofoto com voo de 10m de distância da fachada e processado com escala métrica.

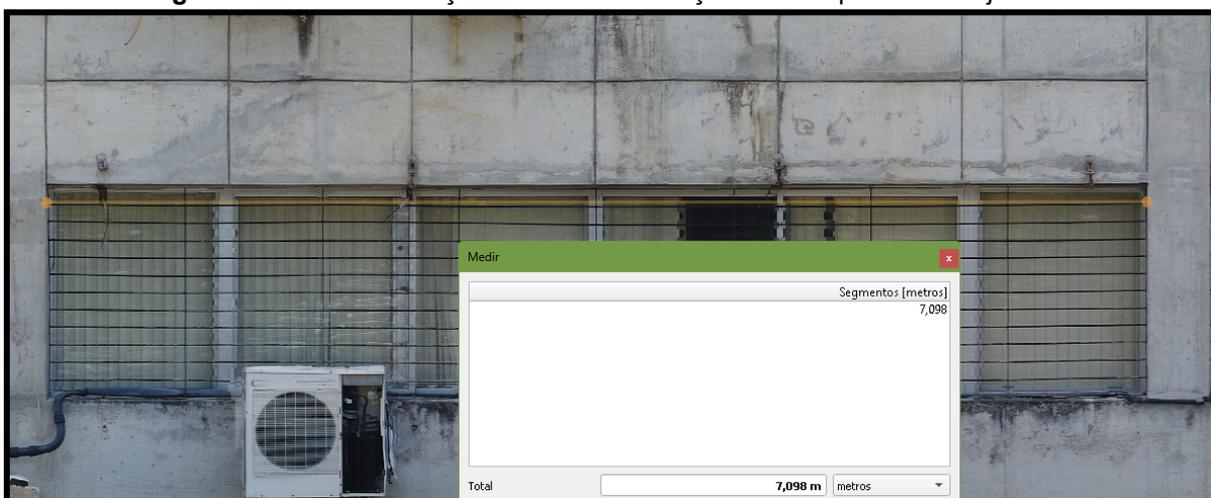


Fonte: Pix4DMapper, 2024.

A Figura 25 apresenta a ortofoto da vista frontal de toda extensão da fachada, extraída a partir do Pix4DMapper. O ortomosaico gerado obteve uma resolução espacial de 0,27 cm/pixel.

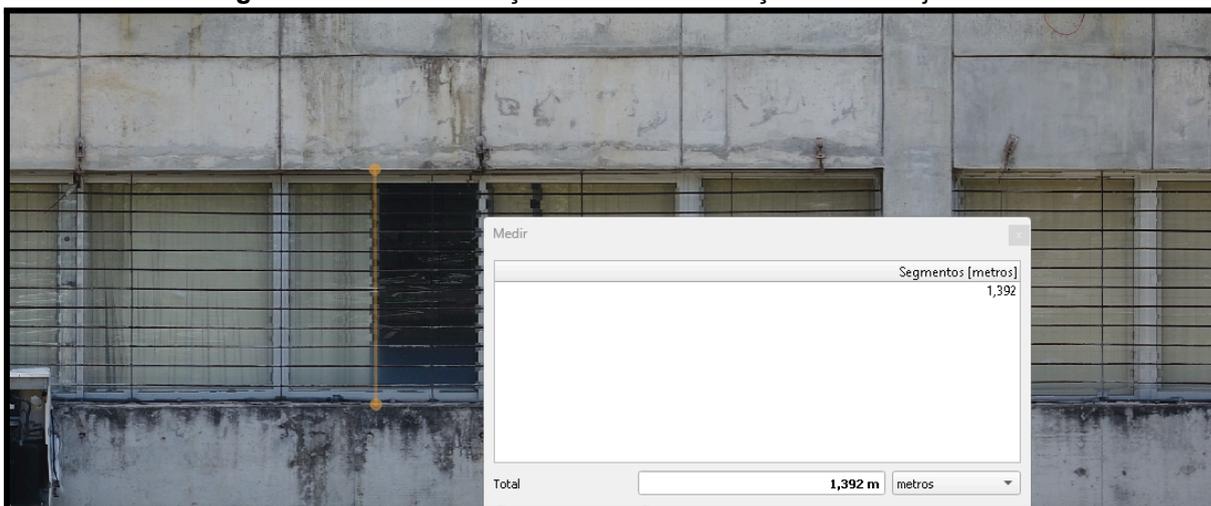
Foram efetuadas medições métricas na ortofoto a partir do software QGIS versão 3.10.14 (Figura 26, 27, 28 e 29) utilizando a ferramenta medir, com a finalidade de comparar com as medidas reais efetuadas com auxílio de trena milimetrada em campo (Figura 23).

Figura 26: Medida de feições na fachada. Feição 1 - Comprimento da janela.



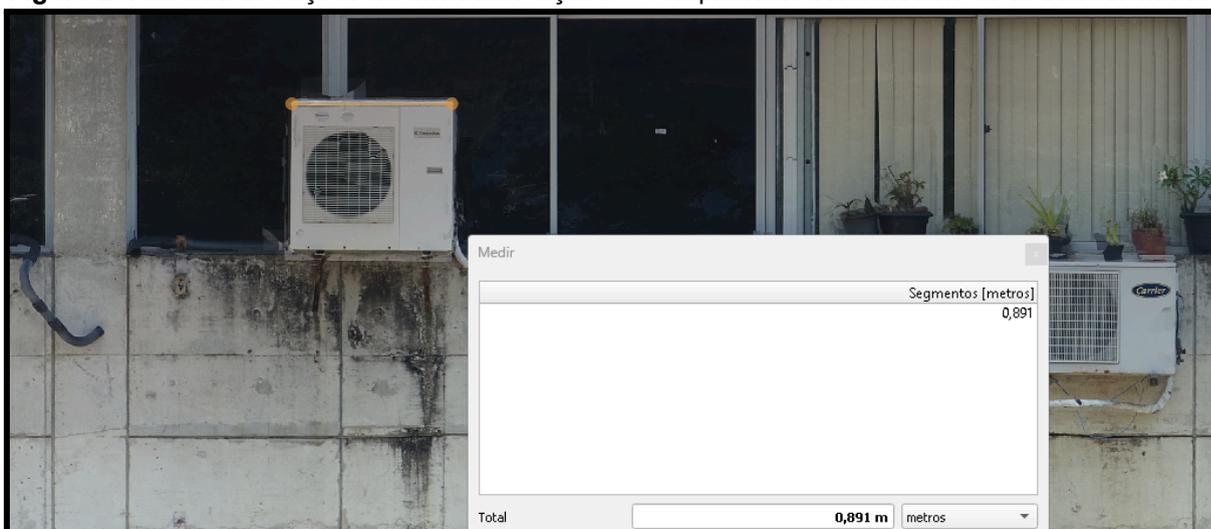
Fonte: Ferramenta medir QGIS versão 3.10.14, 2024.

Figura 27: Medida de feições na fachada. Feição 2 - Altura janela.



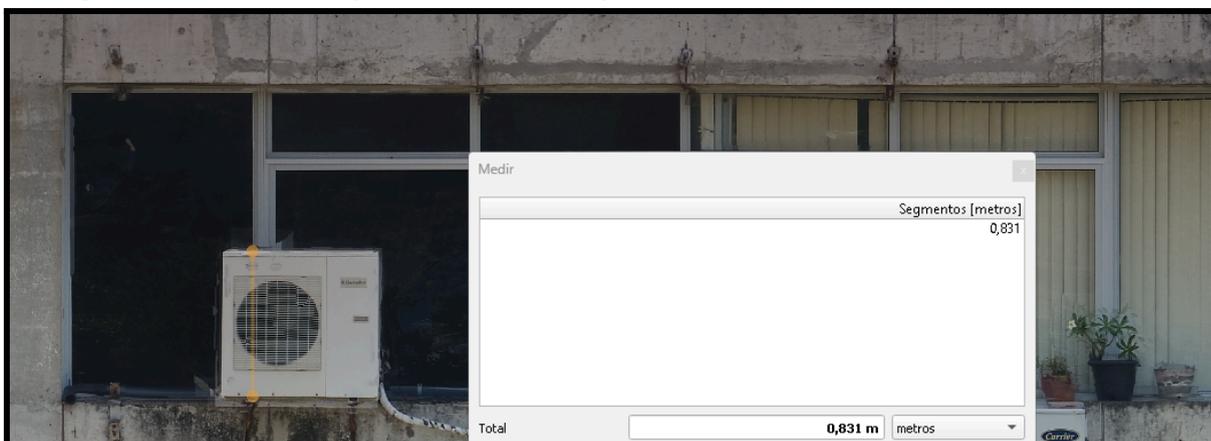
Fonte: Ferramenta medir QGIS versão 3.10.14, 2024.

Figura 28: Medida de feições na fachada. Feição 3 - Comprimento condensador do ar condicionado.



Fonte: Ferramenta medir QGIS versão 3.10.14, 2024.

Figura 29: Medida de feições na fachada. Feição 4 - Altura condensador do ar condicionado.



Fonte: Ferramenta medir QGIS versão 3.10.14, 2024.

Quadro 1: Comparação de resultados - Processamento em escala métrica.

ID	MEDIDA EM CAMPO (m)	MEDIDA ORTOFOTO (m)	Diferença (m)
FEIÇÃO 1	7,100	7,098	0,002
FEIÇÃO 2	1,395	1,392	0,003
FEIÇÃO 3	0,895	0,891	0,004
FEIÇÃO 4	0,830	0,831	0,001

Fonte: Autor, 2024

No quadro 1, observa-se a diferença entre as medidas reais medidas em campo, e as medidas feitas a partir do modelo ortofoto processado no Pix4DMapper. Para fins de comparação, o modelo ortofoto apresentou uma diferença média de 0,00250 m ou 2,50 mm em relação às medidas reais efetuadas em campo.

Após todo o processamento no software Pix4DMapper, é gerado o relatório de informações básicas e informações de qualidade do projeto, onde é apresentado o resumo de todas as etapas do processamento, desde o processo inicial até a geração da Ortofoto da fachada. As Figuras 30 a 41 são apresentados os parâmetros do relatório do projeto Pix4DMapper.

Figura 30: Relatório do projeto Pix4DMapper - Resumo.

Summary	
Project	FACHADA_CAC_10M
Processed	2024-09-18 18:46:30
Camera Model Name(s)	FC6310_8.8_4864x3648 (RGB)
Average Ground Sampling Distance (GSD)	0.27 cm / 0.11 in
Area Covered	undefined

Fonte: Pix4DMapper.

Onde:

- **Project (Projeto):** Nome do projeto;
- **Processed (Processado):** Data e hora do processamento;
- **Camera Model Name (Nome do modelo da câmera):** O nome do modelo de câmera usado para capturar as imagens;
- **Average Ground Sampling Distance - GSD (Distância média de amostragem do solo - GSD):** O GSD médio das imagens iniciais;
- **Area Covered (Área coberta):** A área 2D coberta pelo projeto.

Figura 31: Relatório do projeto Pix4DMapper - Verificação de Qualidade.

Quality Check	
🔍 Images	median of 26879 keypoints per image ✔️
🔍 Dataset	104 out of 104 images calibrated (100%), all images enabled ✔️
🔍 Camera Optimization	0.87% relative difference between initial and optimized internal camera parameters ✔️
🔍 Matching	median of 9061.37 matches per calibrated image ✔️
🔍 Georeferencing	no, no 3D GCP ⚠️

Fonte: Pix4DMapper.

Onde:

- **Images (Imagens):** Corresponde a mediana de pontos-chave por imagem. Pontos-chave são pontos característicos que podem ser detectados nas imagens. No resultado, Figura 31, mostra que a etapa foi concluída com êxito, isto significa que mais de 10.000 pontos chaves foram extraídos por imagem;

- **Dataset (Conjunto de dados):** Número de imagens habilitadas que foram calibradas, ou seja, o número de imagens que foram usadas para a reconstrução do modelo. No resultado, Figura 31, mostra que a etapa foi concluída com êxito, isto significa que mais de 95% das imagens habilitadas foram calibradas;
- **Camera Optimization (Otimização da câmera):** Lente de perspectiva: A porcentagem de diferença entre a distância focal inicial e otimizada. No resultado Figura 31, mostra que a etapa foi concluída com êxito, isto significa que a porcentagem de diferença entre a distância focal inicial e otimizada é menor que 5%;
- **Matching (Correspondência):** É a mediana de correspondência por imagem calibrada. No resultado Figura 31, mostra que a etapa foi concluída com êxito, isto significa que a porcentagem que mais de 1.000 correspondências foram computadas por imagem calibrada;
- **Georeferencing (Georreferenciamento):** Exibe se o projeto é georreferenciado ou não. No resultado Figura 31, mostra que a etapa não utilizou GCP para o georreferenciamento.

Figura 32: Relatório do projeto Pix4DMapper - Detalhes de Calibração.



The screenshot shows a 'Calibration Details' report with a table of results. The title 'Calibration Details' is followed by a dashed line and an information icon. The table contains two rows: 'Number of Calibrated Images' and 'Number of Geolocated Images', both showing '104 out of 104'.

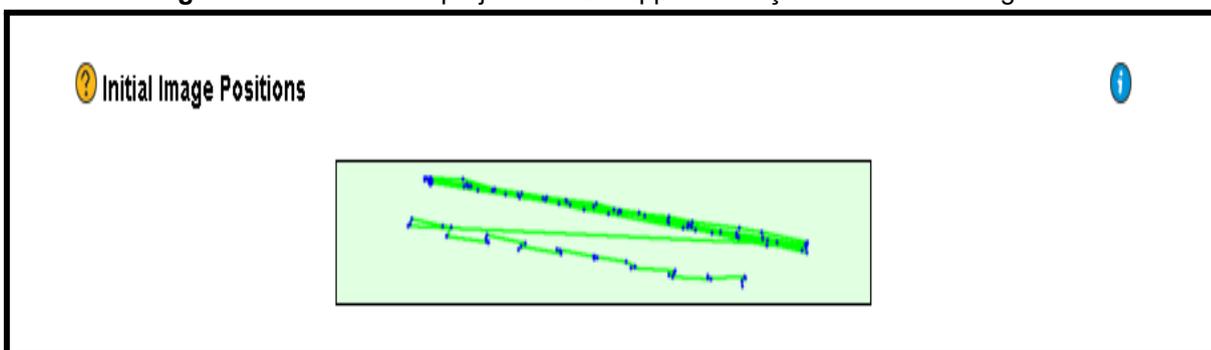
Calibration Details	
Number of Calibrated Images	104 out of 104
Number of Geolocated Images	104 out of 104

Fonte: Pix4DMapper.

Onde:

- **Number of Calibrated Images (Número de imagens calibradas):** Número de imagens que foram calibradas, ou seja, o número de imagens que foram usadas para a reconstrução, em relação ao número total de imagens no projeto. No resultado Figura 32, mostra que foram utilizadas o total de imagens do projeto para a reconstrução do modelo;
- **Number of Geolocated Images (Número de imagens geolocalizadas):** Número de imagens que são geolocalizadas.

Figura 33: Relatório do projeto Pix4DMapper - Posições iniciais da imagem.

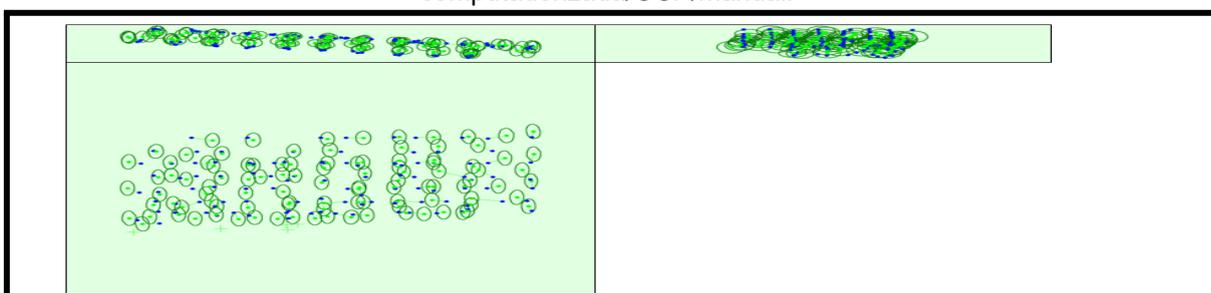


Fonte: Pix4DMapper.

Onde:

- A linha verde segue a posição das imagens no tempo, começando pelo grande ponto azul.

Figura 34: Relatório do projeto Pix4DMapper - Posições de pontos de amarração de imagem computadorizada/GCP/manual.



Fonte: Pix4DMapper.

Onde:

- Deslocamento entre as posições iniciais (pontos azuis) e computadas (pontos verdes) da imagem, bem como o deslocamento entre as posições iniciais dos GCPs (cruzes azuis) e suas posições computadas (cruzes verdes).

Figura 35: Relatório do projeto Pix4DMapper - Incertezas absolutas de posição e orientação da câmera.

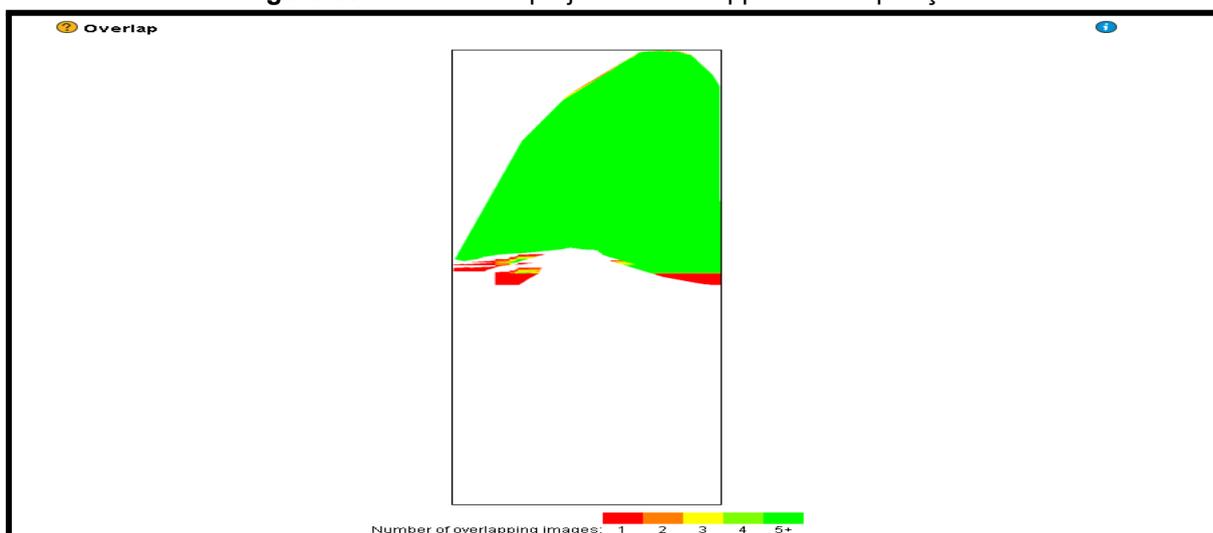
Absolute camera position and orientation uncertainties						
	X [m]	Y [m]	Z [m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]
Mean	0.111	0.136	0.221	0.084	0.519	0.257
Sigma	0.001	0.023	0.004	0.012	0.000	0.001

Fonte: Pix4DMapper.

Onde:

- **Média X/Y/Z:** São as incertezas médias nas direções X/Y/Z das posições absolutas da câmera;
- **Média Ômega/Phi/Kappa:** São as incertezas médias no ângulo de orientação ômega/phi/kappa das posições absolutas da câmera.

Figura 36: Relatório do projeto Pix4DMapper - Sobreposição.



Fonte: Pix4DMapper.

Onde:

- **Número de imagens sobrepostas computadas para cada pixel do ortomosaico:** Áreas vermelhas e amarelas indicam baixa sobreposição para a qual resultados ruins podem ser gerados. Áreas verdes indicam uma sobreposição de mais de 5 imagens para cada pixel.

Figura 37: Relatório do projeto Pix4DMapper - Detalhes do ajuste do bloco de pacotes.

Bundle Block Adjustment Details i	
Number of 2D Keypoint Observations for Bundle Block Adjustment	937291
Number of 3D Points for Bundle Block Adjustment	311825
Mean Reprojection Error [pixels]	0.234

Fonte: Pix4DMapper.

Onde:

- **Número de observações de pontos-chave 2D para ajuste de bloco de pacotes:** Corresponde ao número de todos os pontos-chave (pontos característicos) que podem ser correspondidos em pelo menos duas imagens;
- **Número de pontos 3D para ajuste do bloco de pacotes:** O número de todos os pontos 3D que foram gerados pela correspondência de pontos 2D nas imagens;
- **Erro médio de reprojeção [pixels]:** Cada ponto 3D computado foi inicialmente detectado nas imagens (ponto-chave 2D). Em cada imagem, o ponto-chave 2D detectado tem uma posição específica. Quando o ponto 3D computado é projetado de volta para as imagens, ele tem uma posição reprojetada. A distância entre a posição inicial e a reprojetada fornece o erro de reprojeção. O erro de reprojeção é uma indicação da qualidade do processo de calibração e deve ser menor ou igual a um pixel. Logo, o resultado Figura 37, mostra que o erro de reprojeção está dentro dos parâmetros aceitáveis.

Figura 38: Relatório do projeto Pix4DMapper - Parâmetros internos da câmera.

	Focal Length	Principal Point x	Principal Point y	R1	R2	R3	T1	T2
Initial Values	3666.955 [pixel] 8.600 [mm]	2432.001 [pixel] 5.704 [mm]	1823.999 [pixel] 4.278 [mm]	0.004	-0.017	0.019	-0.000	0.000
Optimized Values	3634.997 [pixel] 8.525 [mm]	2428.343 [pixel] 5.695 [mm]	1826.254 [pixel] 4.283 [mm]	0.004	-0.025	0.023	-0.001	-0.000
Uncertainties (Sigma)	0.429 [pixel] 0.001 [mm]	0.476 [pixel] 0.001 [mm]	0.348 [pixel] 0.001 [mm]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

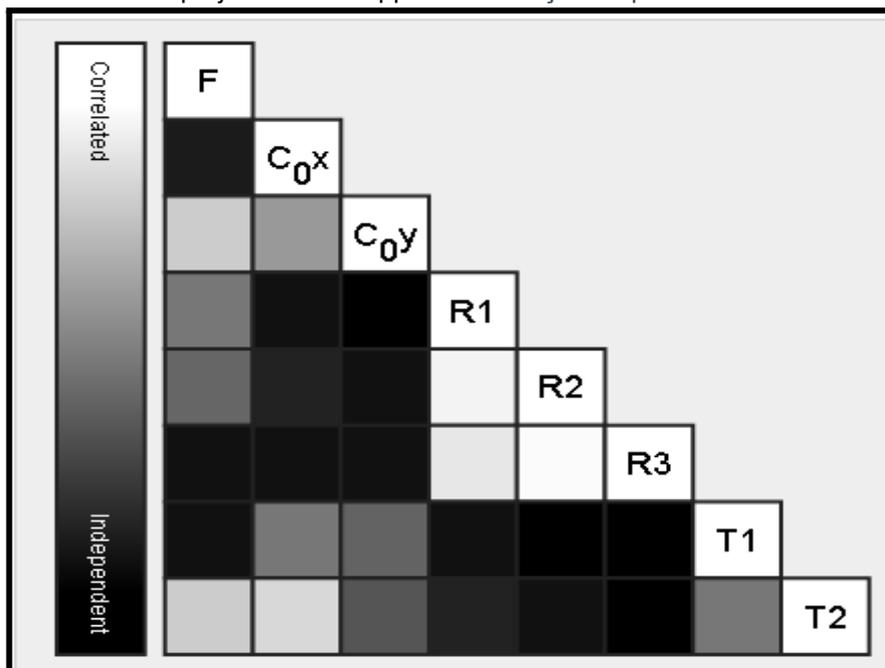
Fonte: Pix4DMapper.

Onde:

- **Valores iniciais:** Os valores iniciais do modelo da câmera;
- **Valores otimizados:** Os valores otimizados que são calculados a partir da calibração da câmera e que são usados para processamento;
- **Incertezas (sigma):** O sigma das incertezas da distância focal, o Ponto Principal X, o Ponto Principal Y, as Distorções Radiais R1, R2 e as Distorções Tangenciais T1, T2;
- **Distância focal:** A distância focal da câmera em pixels e em milímetros;
- **Ponto principal x:** A coordenada x da imagem do ponto principal em pixels e em milímetros. O ponto principal está localizado ao redor do centro da imagem;
- **Ponto principal y:** A coordenada y da imagem do ponto principal em pixels e em milímetros. O ponto principal está localizado ao redor do centro da imagem;
- **R1:** Distorção radial da lente R1;
- **R2:** Distorção radial da lente R2;
- **R3:** Distorção radial da lente R3;

- **T1:** Distorção tangencial da lente T1;
- **T2:** Distorção tangencial da lente T2.

Figura 39: Relatório do projeto Pix4DMapper - Correlação de parâmetros internos da câmera.



Fonte: Pix4DMapper.

Onde:

- A correlação entre os parâmetros internos da câmera determinados pelo ajuste do pacote. A matriz de correlação exibe o quanto os parâmetros internos compensam um ao outro. Branco indica uma correlação completa entre os parâmetros, ou seja, qualquer alteração em um pode ser totalmente compensada pelo outro. Preto indica que o parâmetro é completamente independente e não é afetado por outros parâmetros.

Figura 40: Relatório do projeto Pix4DMapper - Pontos de amarração manuais.

Manual Tie Points		
MTP Name	Projection Error [pixel]	Verified/Marked
mtp1	0.475	18 / 18
mtp2	4.106	7 / 7
mtp3	0.600	2 / 2
mtp4	0.043	2 / 2
mtp6	0.695	13 / 13

Fonte: Pix4DMapper.

Onde:

- **Nome do MTP:** O nome do ponto de amarração manual;
- **Erro de projeção [pixel]:** Distância média nas imagens onde o Ponto de Amarração Manual foi marcado e reprojetoado;
- **Verificado/Marcado:**
 - **Verificado:** O número de imagens nas quais o Manual Tie Point foi marcado e são levadas em conta para a reconstrução;
 - **Marcado:** As imagens nas quais o Manual Tie Point foi marcado.

Figura 41: Relatório do projeto Pix4DMapper -Restrições de escala.

Scale Constraints						
Scale Name	Initial Length [m]	Initial Length Accuracy [m]	Computed Length [m]	Computed Length Error [m]	GCP/MTP Label 1	GCP/MTP Label 2
Scale 1	7.100	0.001	7.102	0.002	mtp1(18)	mtp2(18)
Scale 2	0.895	0.001	0.895	-0.000	mtp3(2)	mtp4(2)
Scale 3	0.830	0.001	0.810	-0.020	mtp4(2)	mtp6(2)
Mean [m]				-0.006		
Sigma [m]				0.010		

Fonte: Pix4DMapper.

Onde:

- **Nome da escala:** Nome da restrição de escala;
- **Comprimento inicial (m):** Comprimento medido no campo que representa o comprimento real da restrição de escala;
- **Precisão do comprimento inicial (m):** Precisão das medições em campo;
- **Comprimento calculado (m):** Comprimento medido no modelo 3D;
- **Erro de comprimento calculado (m):** O erro de comprimento calculado é dado pela diferença entre o comprimento calculado e o comprimento inicial;

- **Rótulo GCP/MTP 1:** Rótulo do primeiro ponto de amarração manual associado à Restrição de Escala;
- **Rótulo GCP/MTP 2:** Rótulo do segundo Ponto de Amarração Manual associado à Restrição de Escala;
- **Média (m):** Erro médio de comprimento calculado;
- **Sigma (m):** O desvio padrão do erro de comprimento calculado.

B - LEVANTAMENTO GEODÉSICO

O levantamento geodésico foi realizado seguindo a metodologia descrita na seção 3.3.3. Após o processamento dos dados de rastreamento GNSS, por meio da ferramenta PPP disponibilizada pelo IBGE, obteve como resultado as seguintes coordenadas para os pontos P1 e P2, sendo: geodésicas elipsoidais, Tabela 2 e coordenadas UTM SIRGAS 2000, Tabela 3. O relatório do processamento pode ser consultado no Apêndice A e B.

Tabela 2: Coordenadas geodésicas elipsoidais.

PONTO	LATITUDE	σ (m)	LONGITUDE	σ (m)	ALT. GEO. (m)	σ (m)
P1	-8°03'01,8799"	0,016	-34°57'15,7938"	0,051	3,72	0,108
P2	-8°03'01,8467"	0,013	-34°57'16,1510"	0,073	3,75	0,056

Fonte: Autor, 2024

Tabela 3: Coordenadas UTM SIRGAS 2000

PONTO	N(m)	E(m)	ALT. NORMAL (m)	INCERTEZA (m)
P1	9.109.602,232	284.614,317	9,37	0,06
P2	9.109.603,199	284.603,373	9,40	0,06

Fonte: Autor, 2024.

As coordenadas P1 e P2 foram utilizadas para auxiliar e obter o transporte de coordenadas para os pontos de controle da fachada, num referencial geodésico.

C - LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO

O levantamento topográfico teve como objetivo obter os pontos de controle na fachada, e foi realizado de acordo com a metodologia descrita na seção 3.3.1. Como resultado, obteve as seguintes informações para cada ponto identificado na fachada: ângulo horizontal, ângulo zenital e distância inclinada, conforme Tabela 4 e 5. Para a tabela 4, tem-se a Estação estacionada em P1, leitura de Ré no prisma estacionado em P2 e leituras de Vante em pontos da fachada, nomeados de F1 a F15. Na tabela 5, tem-se a Estação estacionada em P2, leitura de Ré no prisma estacionado em P1 e leituras de Vante nos mesmos pontos F1 a F15 da fachada.

Tabela 4: Levantamento topográfico com estação em P1

ID	ANG. HORZ.	ANG. ZENT.	DIST. INCL. (m)
P2-F1	212° 39' 47"	87° 50' 22"	28,905
P2-F2	212° 38' 30"	81° 46' 41"	28,900
P2-F3	212° 38' 05"	75° 08' 35"	28,903
P2-F4	222° 49' 59"	87° 15' 26"	22,960
P2-F5	222° 48' 40"	79° 42' 18"	22,951
P2-F6	222° 48' 05"	71° 32' 55"	22,940
P2-F7	239° 07' 04"	86° 33' 08"	18,183
P2-F8	239° 08' 19"	77° 06' 37"	18,179
P2-F9	239° 04' 44"	67° 08' 21"	18,158
P2-F10	263° 16' 26"	86° 02' 12"	15,731
P2-F11	263° 16' 27"	75° 07' 57"	15,706
P2-F12	263° 18' 48"	64° 00' 27"	15,698
P2-F13	308° 58' 22"	86° 53' 40"	20,118
P2-F14	309° 00' 15"	78° 15' 43"	20,100
P2-F15	309° 02' 25"	69° 10' 43"	20,106

Fonte: Autor, 2024

Tabela 5: Levantamento topográfico com estação em P2

ID	ANG. HORZ.	ANG. ZENT.	DIST. INCL. (m)
P1-F1	23° 36' 38"	88° 20' 44"	39,027
P1-F2	23° 34' 59"	83° 49' 40"	39,036
P1-F3	23° 34' 59"	78° 49' 36"	39,034
P1-F4	28° 56' 29"	87° 57' 25"	32,296
P1-F5	29° 00' 42"	82° 35' 08"	32,365
P1-F6	28° 55' 13"	76° 35' 30"	32,282
P1-F7	36° 58' 17"	87° 29' 46"	25,871
P1-F8	36° 58' 18"	80° 48' 47"	25,974
P1-F9	36° 54' 47"	73° 28' 42"	25,957
P1-F10	49° 41' 16"	86° 50' 24"	20,508
P1-F11	49° 37' 54"	78° 22' 52"	20,482
P1-F12	49° 39' 03"	68° 23' 15"	20,467
P1-F13	94° 30' 09"	85° 50' 47"	15,674
P1-F14	94° 29' 22"	74° 54' 25"	15,657
P1-F15	94° 32' 47"	63° 49' 48"	15,658

Fonte: Autor, 2024

A partir das coordenadas iniciais encontradas dos pontos P1 e P2 do levantamento geodésico, seção 3.4.3, foram calculados os azimutes iniciais, Tabela 6, utilizando as equações (5), (6), (7) e (8) da seção 3.4.1.

Tabela 6: Azimutes Iniciais

ID	AZIMUTE (GMS)
P1-P2	275° 2' 58.13"
P2-P1	95° 2' 58.13"

Fonte: Autor, 2024

Utilizando os azimutes iniciais, Tabela 6, e os ângulos horizontais, Tabela 4, Tabela 5, entre a estação e os pontos de controle, foram calculados os azimutes da direção de cada ponto de controle na fachada, conforme mostrado nas Tabela 7 e 8. Esses valores foram então empregados, juntamente com as equações (3) e (4) da seção 3.3.1, para determinar as coordenadas dos pontos de controle no sistema geodésico.

Tabela 7: Azimutes dos Pontos de Controle com Estação em P1

ID	AZIMUTE (GMS)
P1-F1	127° 42' 45"
P1-F2	127° 41' 27.96"
P1-F3	127° 41' 3.12"
P1-F4	137° 52' 57"
P1-F5	137° 51' 38.16"
P1-F6	137° 51' 3.24"
P1-F7	154° 10' 2.28"
P1-F8	154° 11' 17.16"
P1-F9	154° 07' 42.24"
P1-F10	178° 19' 24.24"
P1-F11	178° 19' 24.96"
P1-F12	178° 21' 46.08"
P1-F13	224° 01' 20.28"
P1-F14	224° 03' 12.96"
P1-F15	224° 05' 23.28"

Fonte: Autor, 2024

Tabela 8: Azimutes dos Pontos de Controle com Estação em P2

ID	AZIMUTE (GMS)
P2-F1	118° 39' 36.13"
P2-F2	118° 37' 57.13"
P2-F3	118° 37' 57.13"
P2-F4	123° 59' 27.13"
P2-F5	124° 03' 40.13"
P2-F6	123° 58' 11.13"
P2-F7	132° 01' 15.13"
P2-F8	132° 01' 16.13"
P2-F9	131° 57' 45.13"
P2-F10	144° 44' 14.13"
P2-F11	144° 40' 52.13"
P2-F12	144° 42' 1.13"
P2-F13	189° 33' 7.13"
P2-F14	189° 32' 20.13"
P2-F15	189° 35' 45.13"

Fonte: Autor, 2024

Após calcular os azimute de cada direção, foi realizado o transporte de coordenadas para os pontos de controle da fachada, Tabela 9 e Tabela 10, utilizando as equações (1) e (2) da seção 3.3.1.

Tabela 9: Coordenadas transportadas para os pontos de controle da fachada partindo do ponto P1

PONTO	E(m)	N(m)	DIFERENÇA DE NÍVEL (m)	ALT. H (m)
F1	284.637,183	9.109.584,551	2,634	12,004
F2	284.637,186	9.109.584,562	5,677	15,047
F3	284.637,191	9.109.584,563	8,955	18,325
F4	284.629,715	9.109.585,201	2,643	12,013
F5	284.629,716	9.109.585,214	5,646	15,016
F6	284.629,711	9.109.585,224	8,805	18,175
F7	284.622,240	9.109.585,866	2,638	12,008
F8	284.622,232	9.109.585,867	5,599	14,969
F9	284.622,240	9.109.585,894	8,598	17,968
F10	284.614,777	9.109.586,508	2,631	12,001
F11	284.614,776	9.109.586,533	5,574	14,944
F12	284.614,765	9.109.586,540	8,424	17,794
F13	284.600,336	9.109.587,766	2,634	12,004
F14	284.600,341	9.109.587,786	5,633	15,003
F15	284.600,328	9.109.587,791	8,691	18,061

Fonte: Autor, 2024

Tabela 10: Coordenadas transportadas para os pontos de controle da fachada partindo do ponto P2

PONTO	E(m)	N(m)	DIFERENÇA DE NÍVEL (m)	ALT. H (m)
F1	284.637,618	9.109.584,481	2,632	12,032
F2	284.637,635	9.109.584,493	5,702	15,102
F3	284.637,634	9.109.584,494	9,069	18,469
F4	284.630,150	9.109.585,144	2,647	12,047
F5	284.630,185	9.109.585,072	5,682	15,082
F6	284.630,146	9.109.585,161	8,991	18,391
F7	284.622,593	9.109.585,881	2,635	12,035
F8	284.622,669	9.109.585,812	5,652	15,052
F9	284.622,674	9.109.585,843	8,887	18,287
F10	284.615,213	9.109.586,454	2,635	12,035
F11	284.615,214	9.109.586,487	5,630	15,030
F12	284.615,200	9.109.586,495	8,710	18,110
F13	284.600,772	9.109.587,742	2,640	12,040
F14	284.600,778	9.109.587,758	5,582	14,982
F15	284.600,763	9.109.587,760	8,411	17,811

Fonte: Autor, 2024.

A partir dos dados da Tabela 9 e Tabela 10, foi efetuado o cálculo estatístico da média destas coordenadas para utilizá-las no processamento fotogramétrico no software Pix4DMapper, que estão apresentadas na Tabela 11.

Tabela 11: Coordenadas médias dos pontos de controle da fachada

PONTO	E(m)	N(m)	ALT. H (m)
F1	284.637,400	9.109.584,516	12,018
F2	284.637,410	9.109.584,527	15,074
F3	284.637,412	9.109.584,528	18,397
F4	284.629,932	9.109.585,172	12,030
F5	284.629,950	9.109.585,143	15,049
F6	284.629,928	9.109.585,192	18,283
F7	284.622,416	9.109.585,873	12,021
F8	284.622,450	9.109.585,839	15,010
F9	284.622,457	9.109.585,868	18,127
F10	284.614,995	9.109.586,481	12,018
F11	284.614,995	9.109.586,510	14,987
F12	284.614,982	9.109.586,517	17,952
F13	284.600,554	9.109.587,754	12,022
F14	284.600,559	9.109.587,772	14,981
F15	284.600,545	9.109.587,775	17,936

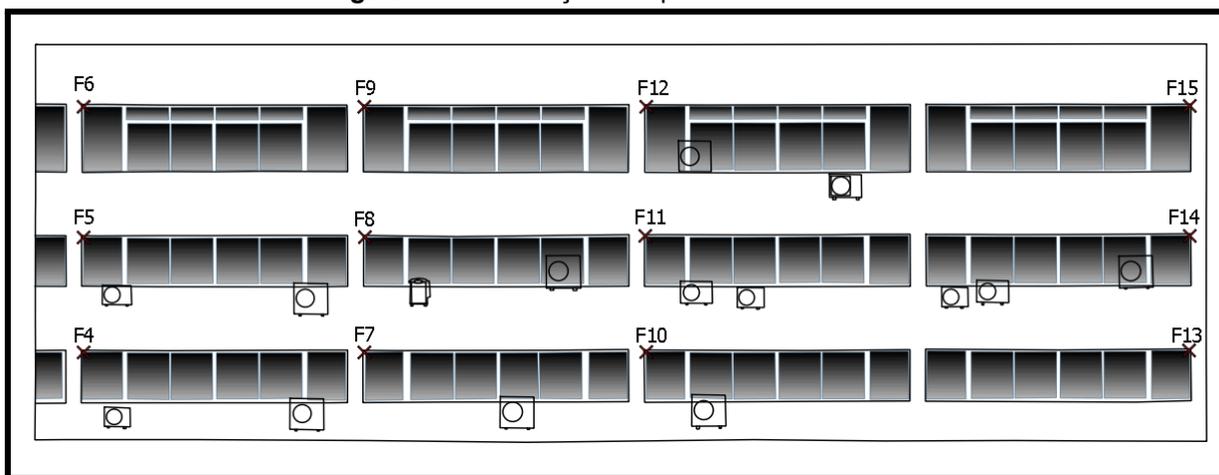
Fonte: Autor, 2024.

D - PROCESSAMENTO FOTOGRAMÉTRICO

O software Pix4DMapper foi escolhido para o processamento fotogramétrico, devido ser conhecido por sua capacidade de gerar ortomosaicos, modelos 3D e nuvens de pontos com alta precisão e, pela disponibilidade dele no laboratório de fotogrametria do departamento de engenharia cartográfica da UFPE. Neste trabalho, utilizou-se um modelo de câmera embarcado em um drone DJI Phantom 4 Advanced, que capturou imagens em resolução máxima de 20 MP. Para aumentar a precisão dos resultados, foram utilizados pontos de controle (GCPs), que foram posicionados estrategicamente ao longo da fachada, Figura 42. Os parâmetros de processamento foram configurados para alta qualidade, com ênfase na precisão do alinhamento das imagens e na geração de modelos detalhados.

A partir da combinação dos pontos-chave detectados automaticamente nas imagens e dos GCPs, foi realizada a triangulação aérea, resultando em uma nuvem de pontos esparsa. Em seguida, foi gerada uma nuvem de pontos densa, Figuras 43 a 46, e, a partir desta, foi gerado o modelo 3D, Figuras 47 e 49, e o ortomosaico da fachada, Figuras 48 e 50.

Figura 42: Localização dos pontos de controle.



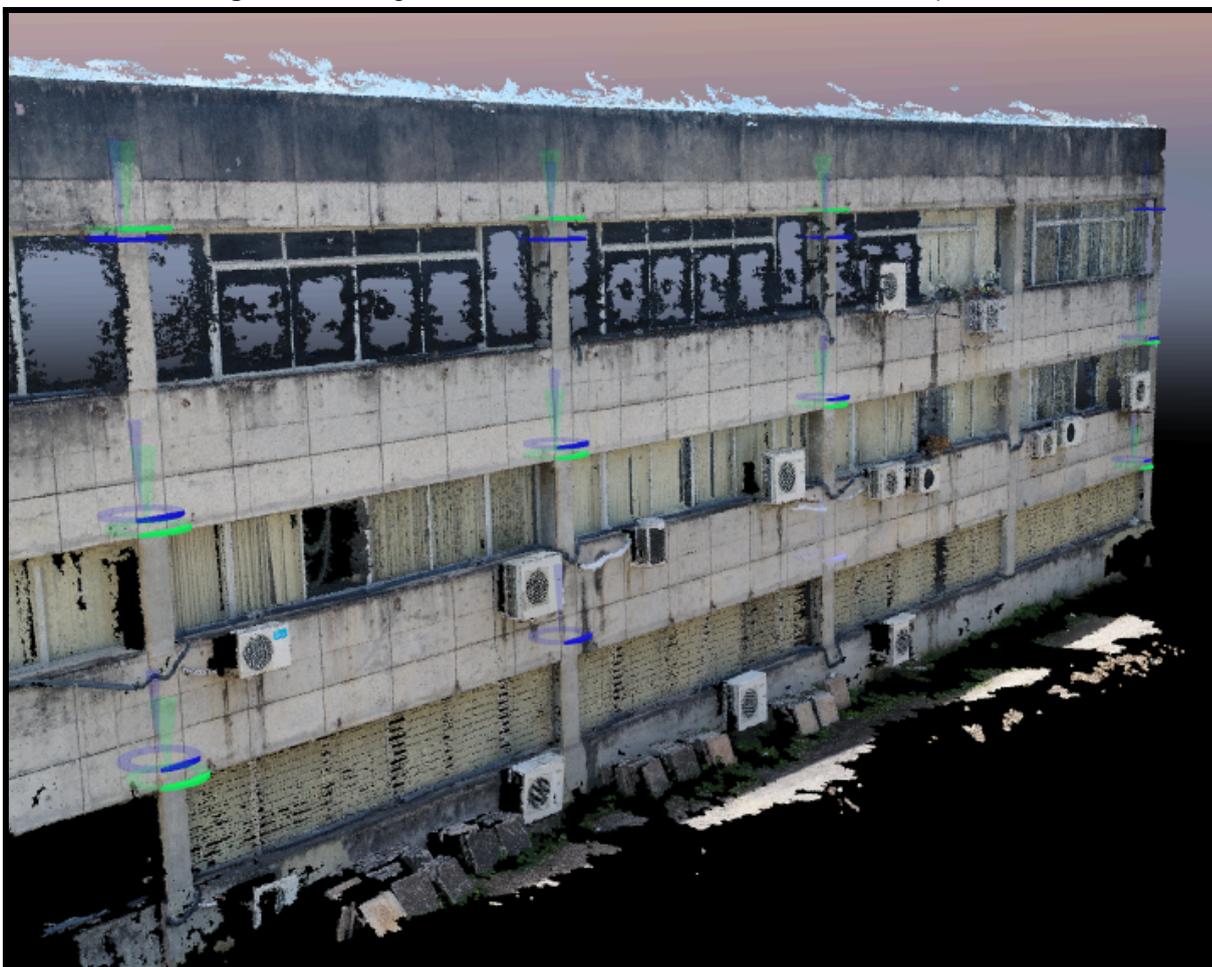
Fonte: Autor, 2024.

Figura 43: Imagens de 5 m, GCPs localizados na nuvem de pontos densa.



Fonte: Pix4DMapper, 2024.

Figura 44: Imagens de 5 m, GCPs localizados na nuvem de pontos densa.



Fonte: Pix4DMapper, 2024.

Figura 45: Imagens de 10 m, GCPs localizados na nuvem de pontos densa.



Fonte: Pix4DMapper, 2024.

Figura 46: Imagens de 10 m, GCPs localizados na nuvem de pontos densa.



Fonte: Pix4DMapper, 2024.

Figura 47: Modelo 3D com voo de 5 m de distância da fachada.



Fonte: Pix4DMapper, 2024.

Figura 48: Ortofoto com voo de 5 m de distância da fachada e processado com GCPs.



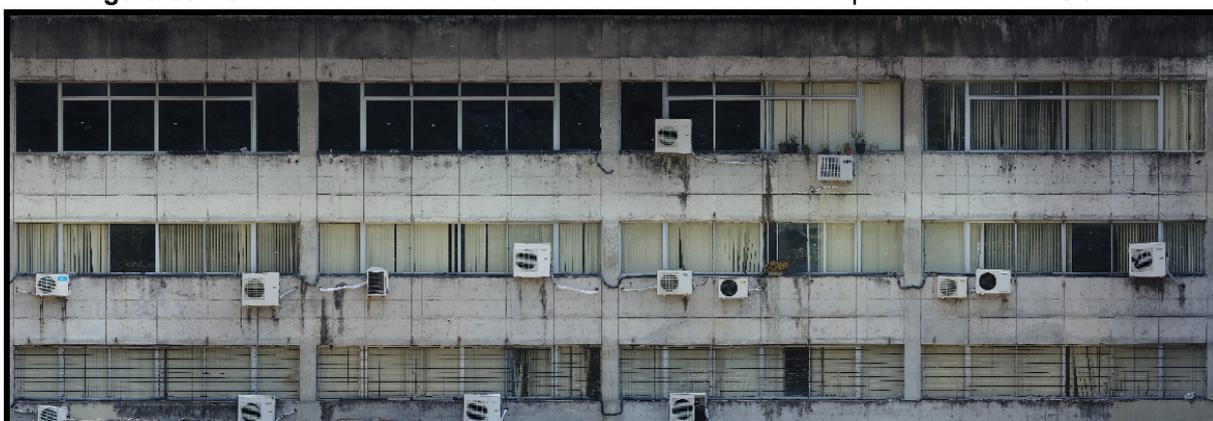
Fonte: Pix4DMapper, 2024.

Figura 49: Modelo 3D com voo de 10 m de distância da fachada.



Fonte: Pix4DMapper, 2024.

Figura 50: Ortofoto com voo de 10 m de distância da fachada e processado com GCPs.



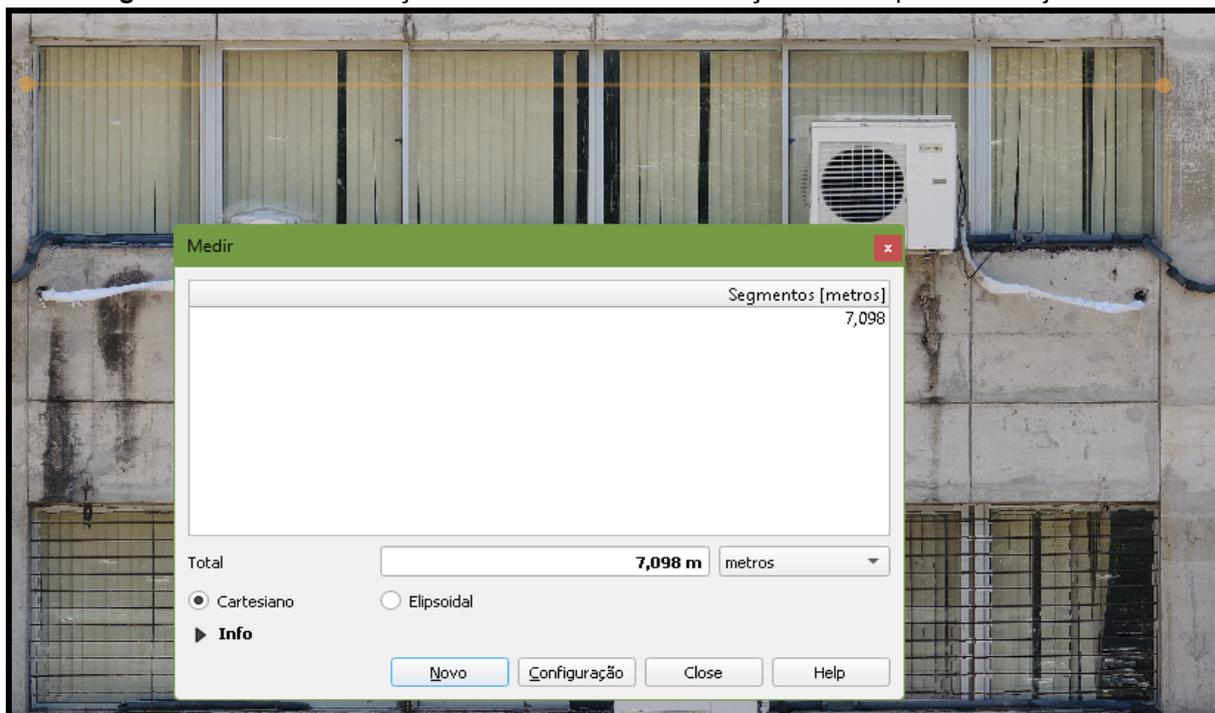
Fonte: Pix4DMapper, 2024.

As figuras 48 e 50 mostram a ortofoto da vista frontal de toda extensão da fachada, extraída a partir do Pix4DMapper. Os ortomosaicos gerados obtiveram uma resolução espacial de 0,191 cm/pixel (Figura 48) e 0,267 cm/pixel (Figura 50).

Foram efetuadas medições métricas nas ortofotos a partir do software QGIS versão 3.10.14, Figuras 51, 52, 53 e 54, utilizando a ferramenta medir, com a

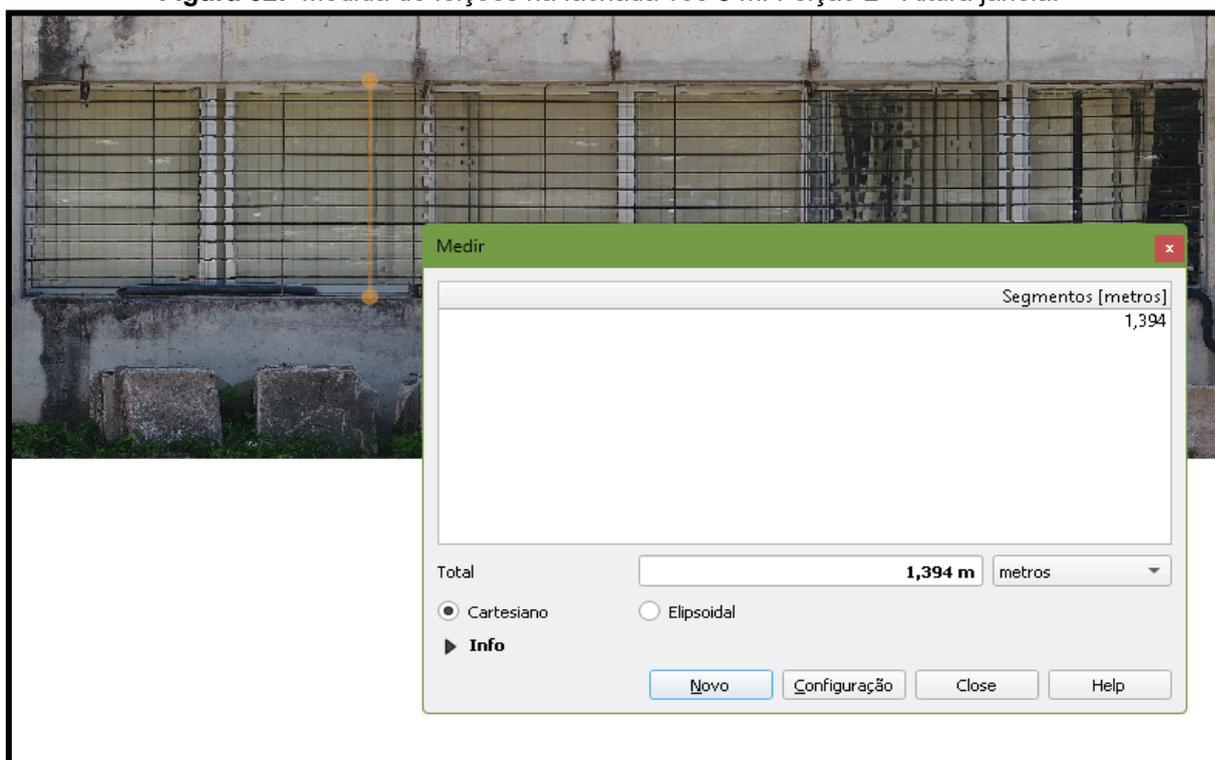
finalidade de comparar com as medidas reais efetuadas com auxílio de trena milimetrada em campo, Figura 23.

Figura 51: Medida de feições na fachada voo 5 m. Feição 1 - Comprimento da janela.



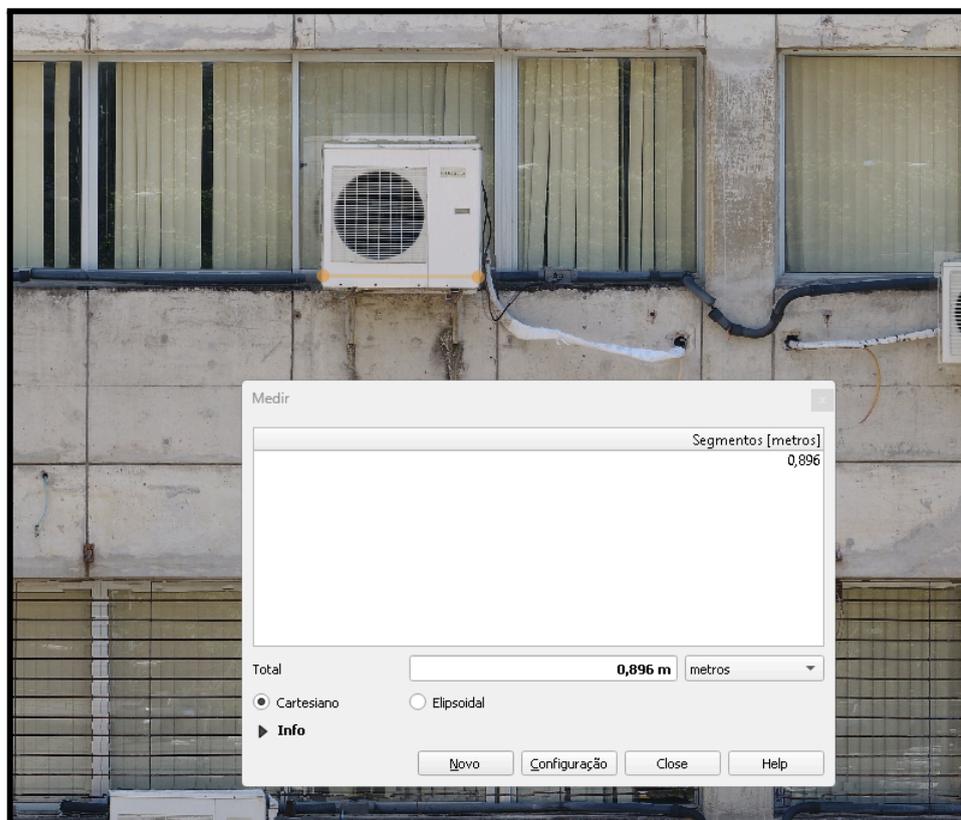
Fonte: Ferramenta medir QGIS versão 3.10.14, 2024.

Figura 52: Medida de feições na fachada voo 5 m. Feição 2 - Altura janela.



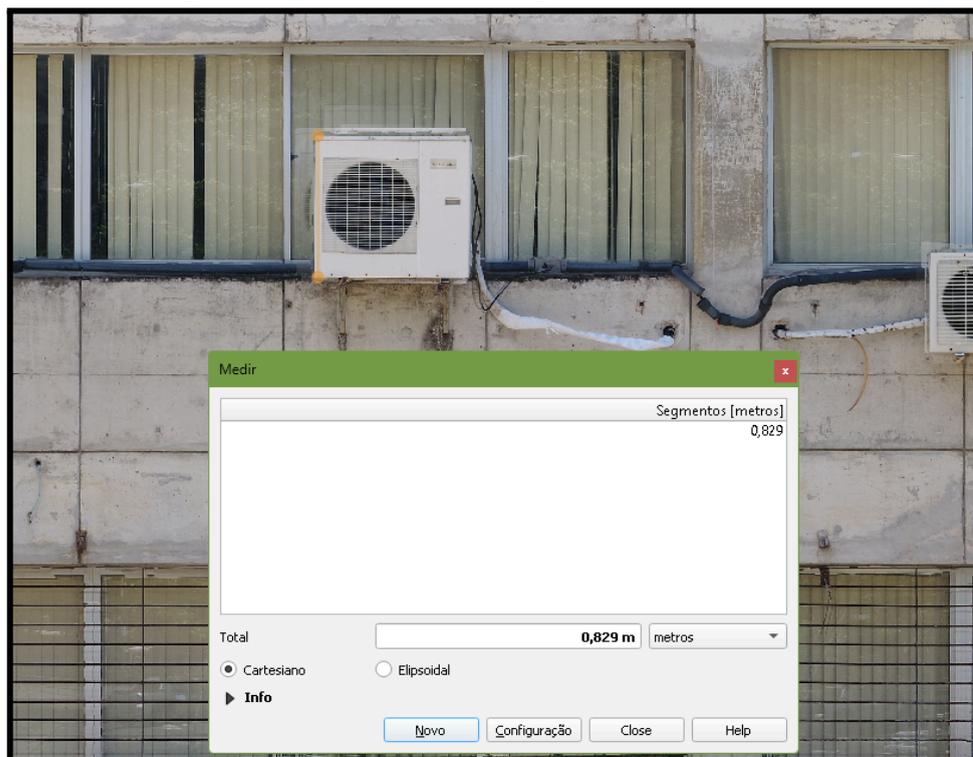
Fonte: Ferramenta medir QGIS versão 3.10.14, 2024.

Figura 53: Medida de feições na fachada voo 5 m. Feição 3 - Comprimento condensador do ar condicionado.



Fonte: Ferramenta medir QGIS versão 3.10.14, 2024.

Figura 54: Medida de feições na fachada voo 5 m. Feição 3 - Altura condensador do ar condicionado.



Fonte: Ferramenta medir QGIS versão 3.10.14, 2024.

Quadro 2: Comparação de resultados - Processamento voo 5 m.

ID	MEDIDA EM CAMPO (m)	MEDIDA ORTOFOTO (m)	Diferença (m)
FEIÇÃO 1	7,100	7,098	0,002
FEIÇÃO 2	1,395	1,394	0,001
FEIÇÃO 3	0,895	0,896	0,001
FEIÇÃO 4	0,830	0,829	0,001

Fonte: Autor, 2024

No quadro 2, observa-se a diferença entre as medidas reais medidas em campo, e as medidas feitas a partir do modelo ortofoto processado no Pix4DMapper. Para fins de comparação, o modelo ortofoto apresentou uma diferença média de 0,00125 m ou 1,25 mm em relação às medidas reais efetuadas em campo.

Após todo o processamento no software Pix4DMapper, é gerado o relatório de informações básicas e informações de qualidade do projeto, onde é apresentado o resumo de todas as etapas do processamento, desde o processo inicial até a geração da Ortofoto da fachada.

As Figuras 55 a 65 são apresentados os parâmetros do relatório do projeto Pix4DMapper.

Figura 55: Relatório do projeto Pix4DMapper - Resumo.

Summary i	
Project	FACHADA_5M
Processed	2024-08-19 20:06:00
Camera Model Name(s)	FC6310_8.8_4864x3648 (RGB)
Average Ground Sampling Distance (GSD)	0.19 cm / 0.08 in
Area Covered	0.000 km ² / 0.0062 ha / 0.00 sq. mi. / 0.0153 acres

Fonte: Pix4DMapper.

Onde:

- **Project (Projeto):** Nome do projeto;
- **Processed (Processado):** Data e hora do processamento;

- **Camera Model Name (Nome do modelo da câmera):** O nome do modelo de câmera usado para capturar as imagens;
- **Average Ground Sampling Distance - GSD (Distância média de amostragem do solo - GSD):** O GSD médio das imagens iniciais;
- **Area Covered (Área coberta):** A área 2D coberta pelo projeto.

Figura 56: Relatório do projeto Pix4DMapper - Verificação de Qualidade.

Quality Check i		
🔍 Images	median of 31016 keypoints per image	✅
🔍 Dataset	68 out of 68 images calibrated (100%), all images enabled	✅
🔍 Camera Optimization	1.16% relative difference between initial and optimized internal camera parameters	✅
🔍 Matching	median of 11439.4 matches per calibrated image	✅
🔍 Georeferencing	yes, 11 GCPs (11 3D), mean RMS error = 0.028 m	⚠️

Fonte: Pix4DMapper.

Onde:

- **Images (Imagens):** Corresponde a mediana de pontos-chave por imagem. Pontos-chave são pontos característicos que podem ser detectados nas imagens. No resultado, Figura 56, mostra que a etapa foi concluída com êxito, isto significa que mais de 10.000 pontos chaves foram extraídos por imagem;
- **Dataset (Conjunto de dados):** Número de imagens habilitadas que foram calibradas, ou seja, o número de imagens que foram usadas para a reconstrução do modelo. No resultado Figura 56, mostra que a etapa foi concluída com êxito, isto significa que mais de 95% das imagens habilitadas foram calibradas;
- **Camera Optimization (Otimização da câmera):** Lente de perspectiva: A porcentagem de diferença entre a distância focal inicial e otimizada. No resultado Figura 56, mostra que a etapa foi concluída com êxito, isto significa que a porcentagem de diferença entre a distância focal inicial e otimizada é menor que 5%;

- **Matching (Correspondência):** É a mediana de correspondência por imagem calibrada. No resultado Figura 56, mostra que a etapa foi concluída com êxito, isto significa que a porcentagem que mais de 1.000 correspondências foram computadas por imagem calibrada;
- **Georeferencing (Georreferenciamento):** Exibe se o projeto é georreferenciado ou não. No resultado Figura 56, mostra que a etapa utilizou GCPs para o georreferenciamento.

Figura 57: Relatório do projeto Pix4DMapper - Detalhes de Calibração.

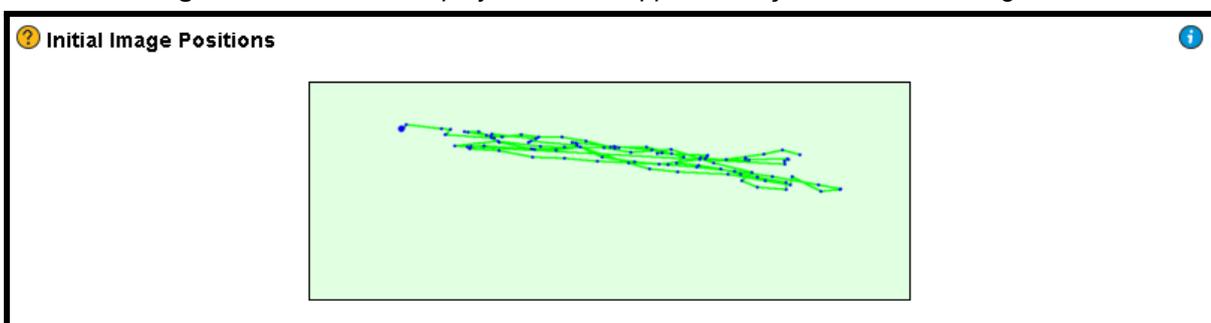
Calibration Details	
Number of Calibrated Images	68 out of 68
Number of Geolocated Images	68 out of 68

Fonte: Pix4DMapper.

Onde:

- **Number of Calibrated Images (Número de imagens calibradas):** Número de imagens que foram calibradas, ou seja, o número de imagens que foram usadas para a reconstrução, em relação ao número total de imagens no projeto. No resultado Figura 57, mostra que foram utilizadas o total de imagens do projeto para a reconstrução do modelo;
- **Number of Geolocated Images (Número de imagens geolocalizadas):** Número de imagens que são geolocalizadas.

Figura 58: Relatório do projeto Pix4DMapper - Posições iniciais da imagem.

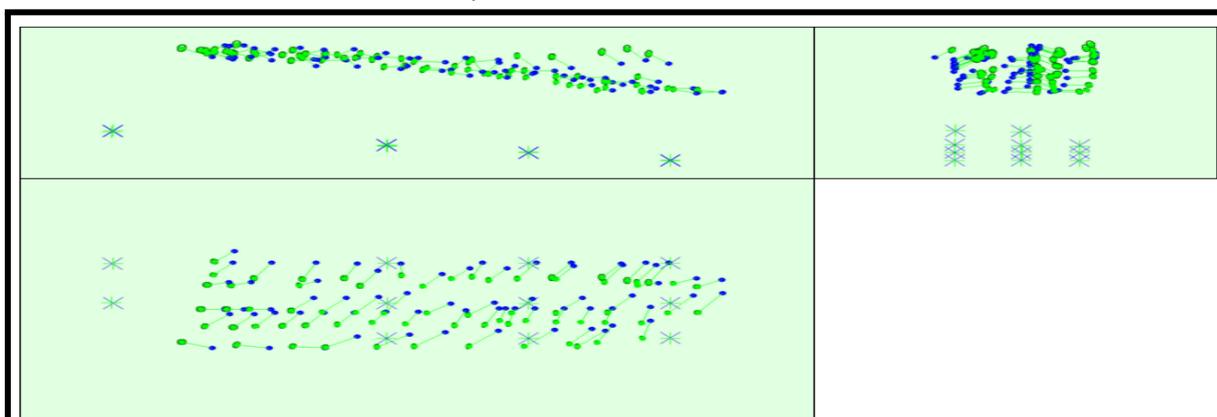


Fonte: Pix4DMapper.

Onde:

- A linha verde segue a posição das imagens no tempo, começando pelo grande ponto azul.

Figura 59: Relatório do projeto Pix4DMapper - Posições de pontos de amarração de imagem computadorizada/GCP/manual.



Fonte: Pix4DMapper.

Onde:

- Deslocamento entre as posições iniciais (pontos azuis) e computadas (pontos verdes) da imagem, bem como o deslocamento entre as posições iniciais dos GCPs (cruzes azuis) e suas posições computadas (cruzes verdes).

Figura 60: Relatório do projeto Pix4DMapper - Incertezas absolutas de posição e orientação da câmera.

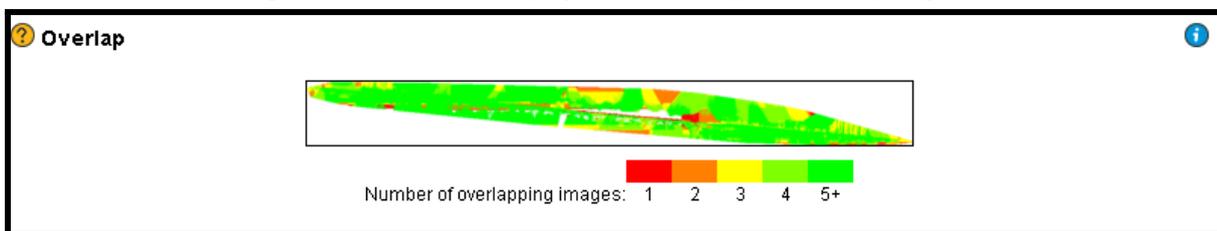
Absolute camera position and orientation uncertainties						
	X [m]	Y [m]	Z [m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]
Mean	0.001	0.002	0.002	0.013	0.007	0.003
Sigma	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000

Fonte: Pix4DMapper.

Onde:

- **Média X/Y/Z:** São as incertezas médias nas direções X/Y/Z das posições absolutas da câmera;
- **Média Ômega/Phi/Kappa:** São as incertezas médias no ângulo de orientação ômega/phi/kappa das posições absolutas da câmera.

Figura 61: Relatório do projeto Pix4DMapper - Sobreposição.



Fonte: Pix4DMapper.

Onde:

- **Número de imagens sobrepostas computadas para cada pixel do ortomosaico:** Áreas vermelhas e amarelas indicam baixa sobreposição para a qual resultados ruins podem ser gerados. Áreas verdes indicam uma sobreposição de mais de 5 imagens para cada pixel.

Figura 62: Relatório do projeto Pix4DMapper - Detalhes do ajuste do bloco de pacotes.

Bundle Block Adjustment Details	
Number of 2D Keypoint Observations for Bundle Block Adjustment	751839
Number of 3D Points for Bundle Block Adjustment	222939
Mean Reprojection Error [pixels]	0.200

Fonte: Pix4DMapper.

Onde:

- **Número de observações de pontos-chave 2D para ajuste de bloco de pacotes:** Corresponde ao número de todos os pontos-chave (pontos característicos) que podem ser correspondidos em pelo menos duas imagens;
- **Número de pontos 3D para ajuste do bloco de pacotes:** O número de todos os pontos 3D que foram gerados pela correspondência de pontos 2D nas imagens;
- **Erro médio de reprojeção [pixels]:** Cada ponto 3D computado foi inicialmente detectado nas imagens (ponto-chave 2D). Em cada imagem, o

ponto-chave 2D detectado tem uma posição específica. Quando o ponto 3D computado é projetado de volta para as imagens, ele tem uma posição reprojetada. A distância entre a posição inicial e a reprojetada fornece o erro de reprojeção. O erro de reprojeção é uma indicação da qualidade do processo de calibração e deve ser menor ou igual a um pixel. Logo, o resultado Figura 62, mostra que o erro de reprojeção está dentro dos parâmetros aceitáveis.

Figura 63: Relatório do projeto Pix4DMapper - Parâmetros internos da câmera.

	Focal Length	Principal Point x	Principal Point y	R1	R2	R3	T1	T2
Initial Values	3666.955 [pixel] 8.600 [mm]	2432.001 [pixel] 5.704 [mm]	1823.999 [pixel] 4.278 [mm]	0.004	-0.017	0.019	-0.000	0.000
Optimized Values	3624.346 [pixel] 8.500 [mm]	2420.188 [pixel] 5.676 [mm]	1834.136 [pixel] 4.302 [mm]	0.004	-0.023	0.021	-0.000	-0.001
Uncertainties (Sigma)	1.119 [pixel] 0.003 [mm]	0.614 [pixel] 0.001 [mm]	0.557 [pixel] 0.001 [mm]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

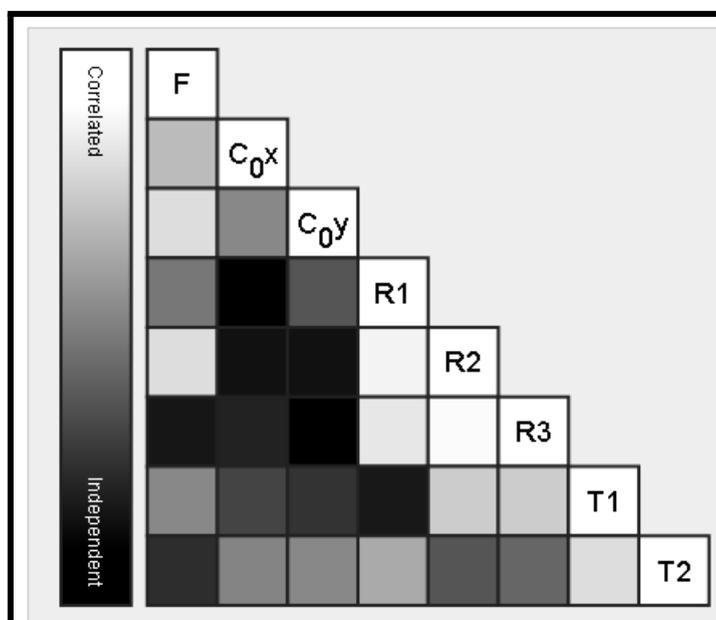
Fonte: Pix4DMapper.

Onde:

- **Valores iniciais:** Os valores iniciais do modelo da câmera;
- **Valores otimizados:** Os valores otimizados que são calculados a partir da calibração da câmera e que são usados para processamento;
- **Incertezas (sigma):** O sigma das incertezas da distância focal, o Ponto Principal X, o Ponto Principal Y, as Distorções Radiais R1, R2 e as Distorções Tangenciais T1, T2;
- **Distância focal:** A distância focal da câmera em pixels e em milímetros;
- **Ponto principal x:** A coordenada x da imagem do ponto principal em pixels e em milímetros. O ponto principal está localizado ao redor do centro da imagem;
- **Ponto principal y:** A coordenada y da imagem do ponto principal em pixels e em milímetros. O ponto principal está localizado ao redor do centro da imagem;

- **R1:** Distorção radial da lente R1;
- **R2:** Distorção radial da lente R2;
- **R3:** Distorção radial da lente R3;
- **T1:** Distorção tangencial da lente T1;
- **T2:** Distorção tangencial da lente T2.

Figura 64: Relatório do projeto Pix4DMapper - Correlação de parâmetros internos da câmera.



Fonte: Pix4DMapper.

Onde:

- **A correlação entre os parâmetros internos da câmera determinados pelo ajuste do pacote:** A matriz de correlação exibe o quanto os parâmetros internos compensam um ao outro. Branco indica uma correlação completa entre os parâmetros, ou seja, qualquer alteração em um pode ser totalmente compensada pelo outro. Preto indica que o parâmetro é completamente independente e não é afetado por outros parâmetros.

Figura 65: Relatório do projeto Pix4DMapper - Pontos de controle.

Ground Control Points						
GCP Name	Accuracy XYZ [m]	Error X [m]	Error Y [m]	Error Z [m]	Projection Error [pixel]	Verified/Marked
F4 (3D)	0.020/ 0.020	0.020	0.001	0.005	15.129	5 / 5
F5 (3D)	0.020/ 0.020	-0.003	-0.012	0.002	9.037	4 / 4
F6 (3D)	0.020/ 0.020	0.001	0.025	-0.024	2.901	8 / 8
F7 (3D)	0.020/ 0.020	-0.005	-0.042	0.008	5.446	4 / 4
F8 (3D)	0.020/ 0.020	0.010	-0.053	0.020	4.552	4 / 4
F9 (3D)	0.020/ 0.020	-0.009	0.006	-0.004	1.301	4 / 4
F10 (3D)	0.020/ 0.020	-0.004	0.055	0.000	0.404	3 / 3
F11 (3D)	0.020/ 0.020	-0.018	0.073	-0.004	0.477	6 / 6
F12 (3D)	0.020/ 0.020	-0.027	-0.005	-0.002	2.291	4 / 4
F14 (3D)	0.020/ 0.020	0.066	0.114	-0.034	2.636	2 / 2
F15 (3D)	0.020/ 0.020	-0.005	-0.040	0.002	3.579	2 / 2
Mean [m]		0.002067	0.011168	-0.002886		
Sigma [m]		0.023340	0.049478	0.014119		
RMS Error [m]		0.023432	0.050723	0.014411		

Fonte: Pix4DMapper.

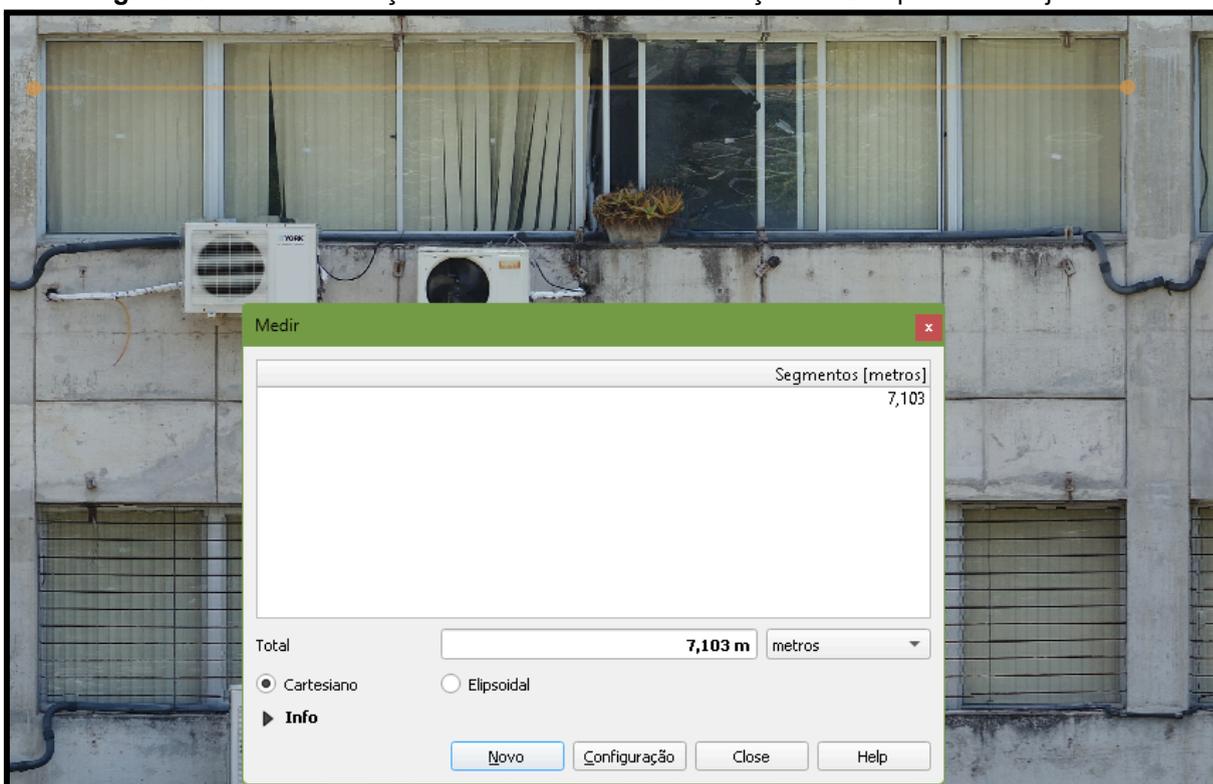
Onde:

- **Nome do GCP::** O nome do GCP junto com o tipo de GCP;
- **Precisão XY / Z (m):** A precisão XY do GCP/Check Point que foi dado pelo usuário na direção XY / A precisão Z do GCP/Check Point que foi dado pelo usuário na direção Z;
- **Erro X (m):** A diferença entre o ponto GCP/Check Point 3D calculado e a posição original na direção X (posição original - posição calculada);
- **Erro Y (m):** A diferença entre o ponto GCP/Check Point 3D calculado e a posição original na direção Y (posição original - posição calculada);
- **Erro Z [m]:** A diferença entre o ponto GCP/Check Point 3D calculado e a posição original na direção Z (posição original - posição calculada);
- **Erro de projeção (pixel):** Distância média nas imagens onde o GCP/Check Point foi marcado e onde foi reprojetoado;
- **Verificado/Marcado:**

- **Verificado:** O número de imagens nas quais o GCP/Check Point foi marcado e são levadas em conta para a reconstrução;
- **Marcado:** As imagens nas quais o GCP/Check Point foi marcado;
- **Média (m):** O erro médio/média em cada direção (X,Y, Z);
- **Sigma (m):** O desvio padrão do erro em cada direção (X,Y, Z);
- **Erro RMS (m):** O erro Root Mean Square em cada direção (X,Y, Z).

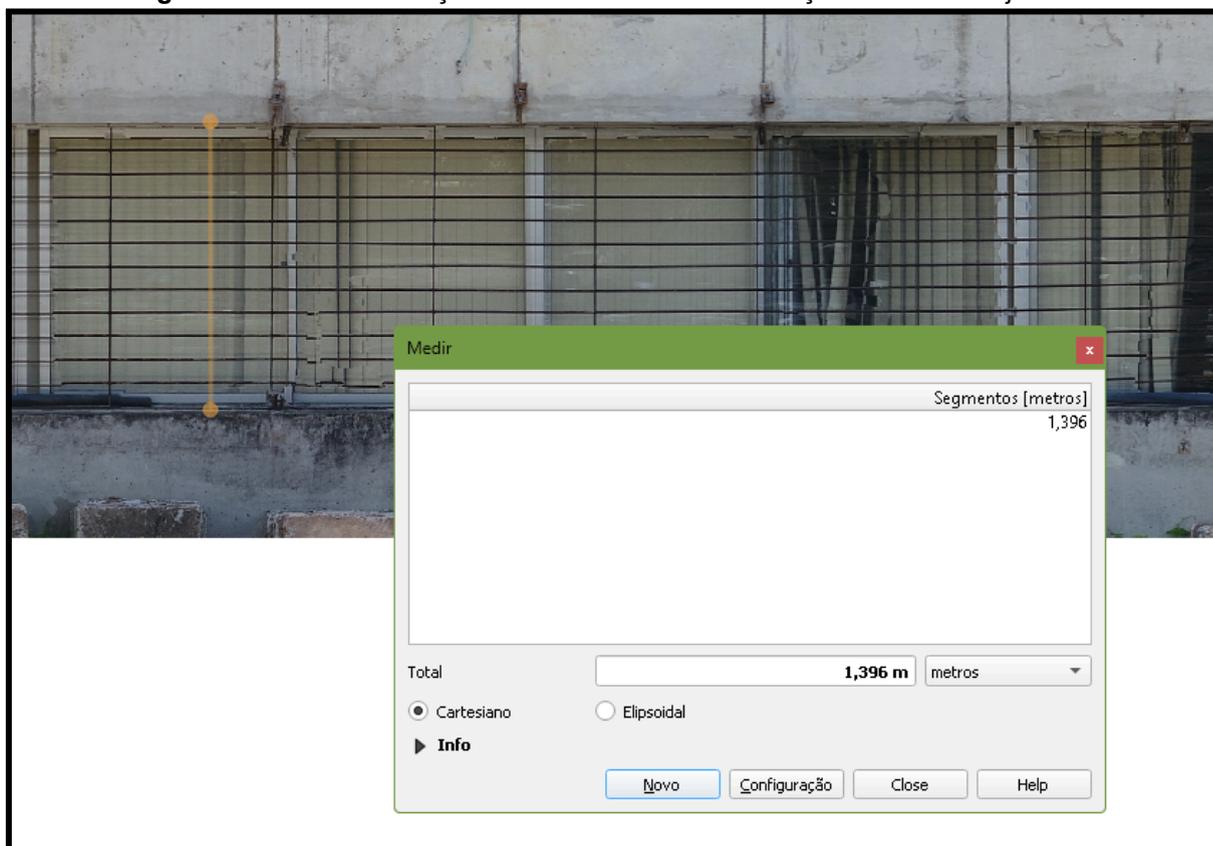
Foram efetuadas medições métricas nas ortofotos a partir do software QGIS versão 3.10.14, Figuras 66, 67, 68 e 69, utilizando a ferramenta medir, com a finalidade de comparar com as medidas reais efetuadas com auxílio de trena milimetrada em campo, Figura 23.

Figura 66: Medida de feições na fachada voo 10 m. Feição 1 - Comprimento da janela.



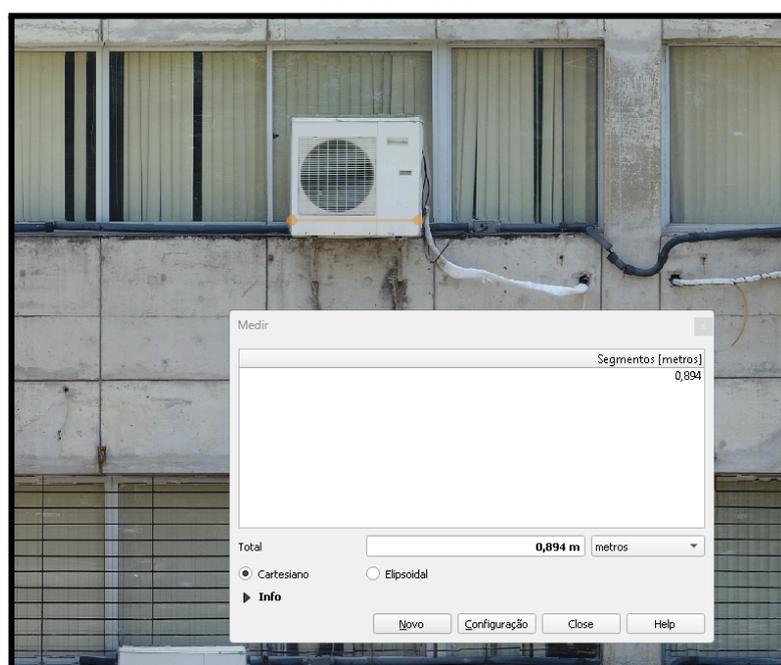
Fonte: Ferramenta medir QGIS versão 3.10.14, 2024.

Figura 67: Medida de feições na fachada voo 10 m. Feição 2 - Altura da janela.



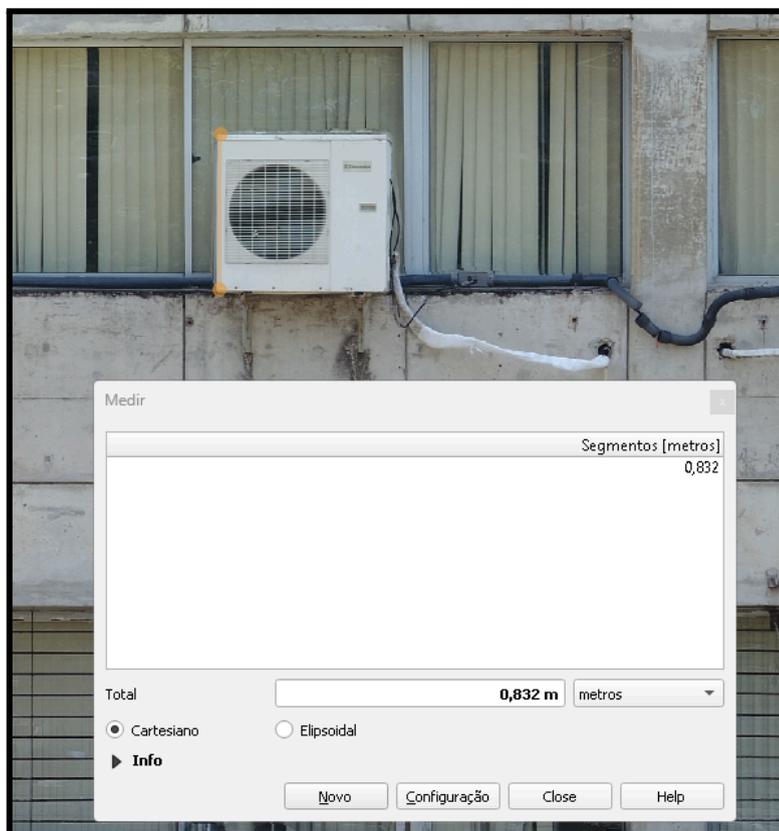
Fonte: Ferramenta medir QGIS versão 3.10.14, 2024.

Figura 68: Medida de feições na fachada voo 10 m. Feição 3 - Comprimento condensador do ar condicionado.



Fonte: Ferramenta medir QGIS versão 3.10.14, 2024.

Figura 69: Medida de feições na fachada voo 10 m. Feição 3 - Altura condensador do ar condicionado.



Fonte: Ferramenta medir QGIS versão 3.10.14, 2024.

Quadro 3: Comparação de resultados - Processamento voo 10 m.

ID	MEDIDA EM CAMPO (m)	MEDIDA ORTOFOTO (m)	Diferença (m)
FEIÇÃO 1	7,100	7,103	0,003
FEIÇÃO 2	1,395	1,396	0,001
FEIÇÃO 3	0,895	0,894	0,001
FEIÇÃO 4	0,830	0,832	0,002

Fonte: Autor, 2024

No quadro 3, observa-se a diferença entre as medidas reais medidas em campo, e as medidas feitas a partir do modelo ortofoto processado no Pix4DMapper. Para fins de comparação, o modelo ortofoto apresentou uma diferença média de 0,00175 m ou 1,75 mm em relação às medidas reais efetuadas em campo.

Após todo o processamento no software Pix4DMapper, é gerado o relatório de informações básicas e informações de qualidade do projeto, onde é apresentado

o resumo de todas as etapas do processamento, desde o processo inicial até a geração da Ortofoto da fachada.

As Figuras 70 a 65 são apresentados os parâmetros do relatório do projeto Pix4DMapper.

Figura 70: Relatório do projeto Pix4DMapper - Resumo.

Summary	
Project	fachada_1
Processed	2024-09-22 17:55:09
Camera Model Name(s)	FC6310_8.8_4864x3648 (RGB)
Average Ground Sampling Distance (GSD)	0.27 cm / 0.11 in
Area Covered	0.048 km ² / 4.8479 ha / 0.02 sq. mi. / 11.9856 acres

Fonte: Pix4DMapper.

Onde:

- **Project (Projeto):** Nome do projeto;
- **Processed (Processado):** Data e hora do processamento;
- **Camera Model Name (Nome do modelo da câmera):** O nome do modelo de câmera usado para capturar as imagens;
- **Average Ground Sampling Distance - GSD (Distância média de amostragem do solo - GSD):** O GSD médio das imagens iniciais;
- **Area Covered (Área coberta):** A área 2D coberta pelo projeto.

Figura 71: Relatório do projeto Pix4DMapper - Verificação de Qualidade.

Quality Check		
🔍 Images	median of 26879 keypoints per image	✅
🔍 Dataset	104 out of 104 images calibrated (100%), all images enabled	✅
🔍 Camera Optimization	0.8% relative difference between initial and optimized internal camera parameters	✅
🔍 Matching	median of 9045.86 matches per calibrated image	✅
🔍 Georeferencing	yes, 13 GCPs (13 3D), mean RMS error = 0.031 m	⚠️

Fonte: Pix4DMapper.

Onde:

- **Images (Imagens):** Corresponde a mediana de pontos-chave por imagem. Pontos-chave são pontos característicos que podem ser detectados nas imagens. No resultado, Figura 71, mostra que a etapa foi concluída com êxito, isto significa que mais de 10.000 pontos chaves foram extraídos por imagem;
- **Dataset (Conjunto de dados):** Número de imagens habilitadas que foram calibradas, ou seja, o número de imagens que foram usadas para a reconstrução do modelo. No resultado, Figura 71, mostra que a etapa foi concluída com êxito, isto significa que mais de 95% das imagens habilitadas foram calibradas;
- **Camera Optimization (Otimização da câmera):** Lente de perspectiva: A porcentagem de diferença entre a distância focal inicial e otimizada. No resultado, Figura 71, mostra que a etapa foi concluída com êxito, isto significa que a porcentagem de diferença entre a distância focal inicial e otimizada é menor que 5%;
- **Matching (Correspondência):** É a mediana de correspondência por imagem calibrada. No resultado, Figura 71, mostra que a etapa foi concluída com êxito, isto significa que a porcentagem que mais de 1.000 correspondências foram computadas por imagem calibrada;
- **Georeferencing (Georreferenciamento):** Exibe se o projeto é georreferenciado ou não. No resultado, Figura 71, mostra que a etapa utilizou GCPs para o georreferenciamento.

Figura 72: Relatório do projeto Pix4DMapper - Detalhes de Calibração.

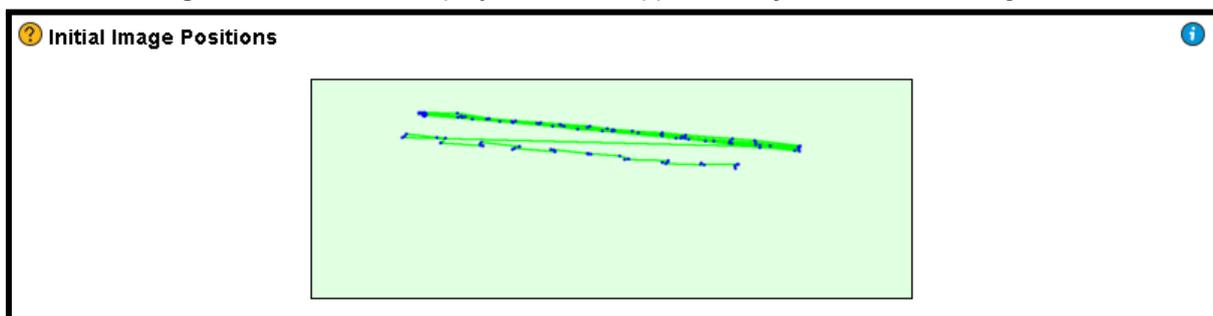
Calibration Details i	
Number of Calibrated Images	104 out of 104
Number of Geolocated Images	104 out of 104

Fonte: Pix4DMapper.

Onde:

- **Number of Calibrated Images (Número de imagens calibradas):** Número de imagens que foram calibradas, ou seja, o número de imagens que foram usadas para a reconstrução, em relação ao número total de imagens no projeto. No resultado, Figura 72, mostra que foram utilizadas o total de imagens do projeto para a reconstrução do modelo;
- **Number of Geolocated Images (Número de imagens geolocalizadas):** Número de imagens que são geolocalizadas.

Figura 73: Relatório do projeto Pix4DMapper - Posições iniciais da imagem.

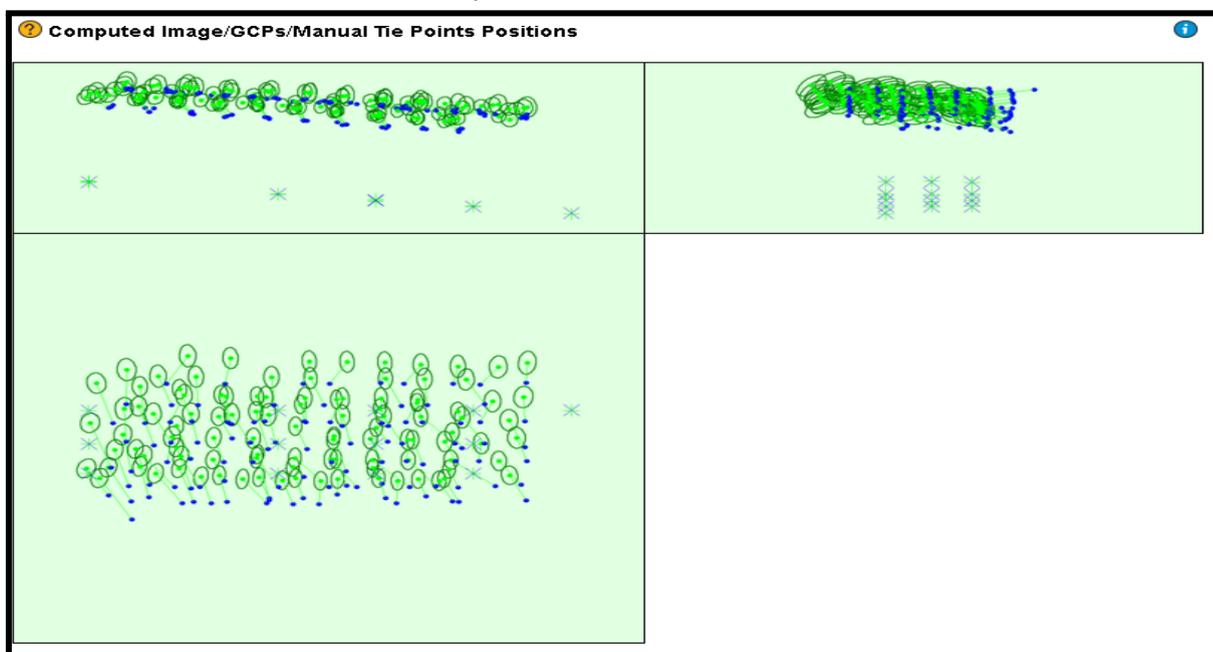


Fonte: Pix4DMapper.

Onde:

- A linha verde segue a posição das imagens no tempo, começando pelo grande ponto azul.

Figura 74: Relatório do projeto Pix4DMapper - Posições de pontos de amarração de imagem computadorizada/GCP/manual.



Fonte: Pix4DMapper.

Onde:

- Deslocamento entre as posições iniciais (pontos azuis) e computadas (pontos verdes) da imagem, bem como o deslocamento entre as posições iniciais dos GCPs (cruzes azuis) e suas posições computadas (cruzes verdes).

Figura 75: Relatório do projeto Pix4DMapper - Incertezas absolutas de posição e orientação da câmera.

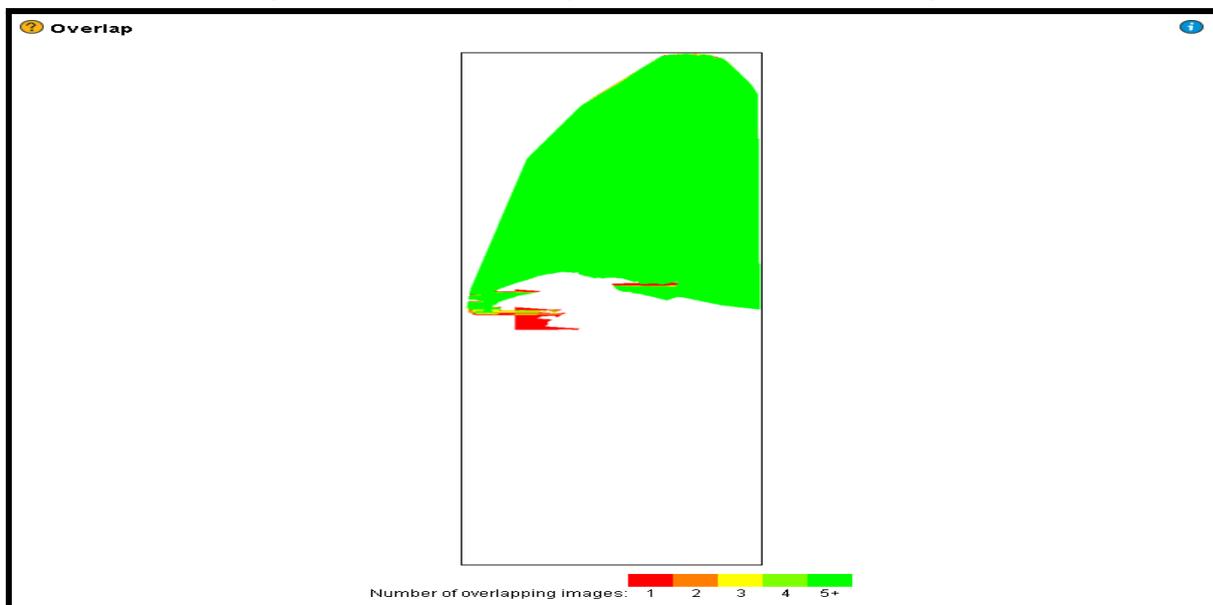
Absolute camera position and orientation uncertainties						
	X [m]	Y [m]	Z [m]	Omega [degree]	Phi [degree]	Kappa [degree]
Mean	0.001	0.001	0.002	0.011	0.006	0.002
Sigma	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Fonte: Pix4DMapper.

Onde:

- **Média X/Y/Z:** São as incertezas médias nas direções X/Y/Z das posições absolutas da câmera;
- **Média Ômega/Phi/Kappa:** São as incertezas médias no ângulo de orientação ômega/phi/kappa das posições absolutas da câmera.

Figura 76: Relatório do projeto Pix4DMapper - Sobreposição.



Fonte: Pix4DMapper.

Onde:

- **Número de imagens sobrepostas computadas para cada pixel do ortomosaico:** Áreas vermelhas e amarelas indicam baixa sobreposição para a qual resultados ruins podem ser gerados. Áreas verdes indicam uma sobreposição de mais de 5 imagens para cada pixel.

Figura 77: Relatório do projeto Pix4DMapper - Detalhes do ajuste do bloco de pacotes.

Bundle Block Adjustment Details	
Number of 2D Keypoint Observations for Bundle Block Adjustment	957141
Number of 3D Points for Bundle Block Adjustment	289565
Mean Reprojection Error [pixels]	0.219

Fonte: Pix4DMapper.

Onde:

- **Número de observações de pontos-chave 2D para ajuste de bloco de pacotes:** Corresponde ao número de todos os pontos-chave (pontos característicos) que podem ser correspondidos em pelo menos duas imagens;

- **Número de pontos 3D para ajuste do bloco de pacotes:** O número de todos os pontos 3D que foram gerados pela correspondência de pontos 2D nas imagens;
- **Erro médio de reprojeção [pixels]:** Cada ponto 3D computado foi inicialmente detectado nas imagens (ponto-chave 2D). Em cada imagem, o ponto-chave 2D detectado tem uma posição específica. Quando o ponto 3D computado é projetado de volta para as imagens, ele tem uma posição reprojetada. A distância entre a posição inicial e a reprojetada fornece o erro de reprojeção. O erro de reprojeção é uma indicação da qualidade do processo de calibração e deve ser menor ou igual a um pixel. Logo, o resultado Figura 77, mostra que o erro de reprojeção está dentro dos parâmetros aceitáveis.

Figura 78: Relatório do projeto Pix4DMapper - Parâmetros internos da câmera.

	Focal Length	Principal Point x	Principal Point y	R1	R2	R3	T1	T2
Initial Values	3666.955 [pixel] 8.600 [mm]	2432.001 [pixel] 5.704 [mm]	1823.999 [pixel] 4.278 [mm]	0.004	-0.017	0.019	-0.000	0.000
Optimized Values	3637.319 [pixel] 8.530 [mm]	2422.298 [pixel] 5.681 [mm]	1829.126 [pixel] 4.290 [mm]	0.004	-0.024	0.022	-0.001	-0.001
Uncertainties (Sigma)	0.340 [pixel] 0.001 [mm]	0.337 [pixel] 0.001 [mm]	0.286 [pixel] 0.001 [mm]	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

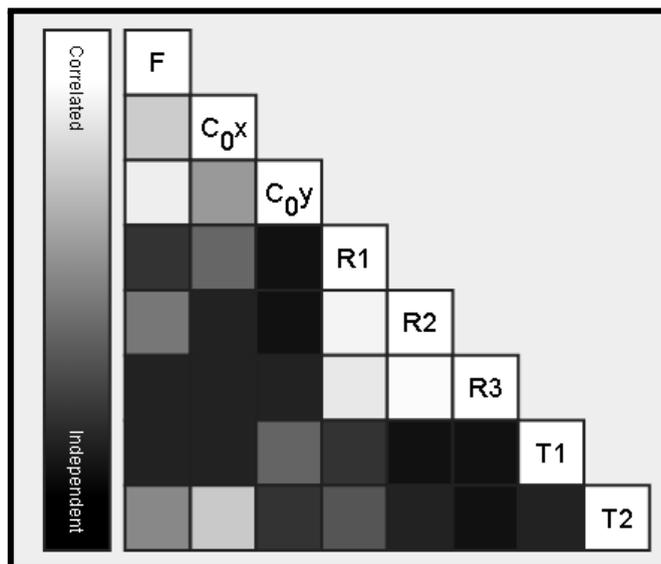
Fonte: Pix4DMapper.

Onde:

- **Valores iniciais:** Os valores iniciais do modelo da câmera;
- **Valores otimizados:** Os valores otimizados que são calculados a partir da calibração da câmera e que são usados para processamento;
- **Incertezas (sigma):** O sigma das incertezas da distância focal, o Ponto Principal X, o Ponto Principal Y, as Distorções Radiais R1, R2 e as Distorções Tangenciais T1, T2;
- **Distância focal:** A distância focal da câmera em pixels e em milímetros;
- **Ponto principal x:** A coordenada x da imagem do ponto principal em pixels e em milímetros. O ponto principal está localizado ao redor do centro da imagem;

- **Ponto principal y:** A coordenada y da imagem do ponto principal em pixels e em milímetros. O ponto principal está localizado ao redor do centro da imagem;
- **R1:** Distorção radial da lente R1;
- **R2:** Distorção radial da lente R2;
- **R3:** Distorção radial da lente R3;
- **T1:** Distorção tangencial da lente T1;
- **T2:** Distorção tangencial da lente T2.

Figura 79: Relatório do projeto Pix4DMapper - Correlação de parâmetros internos da câmera.



Fonte: Pix4DMapper.

Onde:

- **A correlação entre os parâmetros internos da câmera determinados pelo ajuste do pacote:** A matriz de correlação exibe o quanto os parâmetros internos compensam um ao outro. Branco indica uma correlação completa entre os parâmetros, ou seja, qualquer alteração em um pode ser totalmente compensada pelo outro. Preto indica que o parâmetro é completamente

independente e não é afetado por outros parâmetros.

Figura 80: Relatório do projeto Pix4DMapper - Pontos de controle.

Ground Control Points						
GCP Name	Accuracy XY/Z [m]	Error X [m]	Error Y [m]	Error Z [m]	Projection Error [pixel]	Verified/Marked
F3 (3D)	0.020/0.020	-0.042	0.117	0.017	13.327	3 / 3
F4 (3D)	0.020/0.020	-0.004	-0.049	-0.001	1.915	13 / 13
F5 (3D)	0.020/0.020	0.013	-0.021	0.020	2.705	8 / 8
F6 (3D)	0.020/0.020	0.020	0.000	-0.009	2.298	10 / 10
F7 (3D)	0.020/0.020	-0.006	0.008	-0.005	6.417	5 / 5
F8 (3D)	0.020/0.020	-0.013	0.127	-0.023	1.107	8 / 8
F9 (3D)	0.020/0.020	-0.021	-0.082	-0.003	5.185	5 / 5
F10 (3D)	0.020/0.020	-0.020	0.005	-0.018	1.439	12 / 12
F11 (3D)	0.020/0.020	0.002	0.041	0.017	2.029	9 / 9
F12 (3D)	0.020/0.020	-0.025	0.002	-0.011	4.475	4 / 4
F13 (3D)	0.020/0.020	0.026	0.052	0.013	4.180	3 / 3
F14 (3D)	0.020/0.020	-0.015	-0.084	-0.005	3.648	4 / 4
F15 (3D)	0.020/0.020	0.021	-0.009	0.004	5.018	6 / 6
Mean [m]		-0.004853	0.008169	-0.000409		
Sigma [m]		0.019701	0.062055	0.013296		
RMS Error [m]		0.020290	0.062590	0.013303		

Fonte: Pix4DMapper.

Onde:

- **Nome do GCP::** O nome do GCP junto com o tipo de GCP;
- **Precisão XY / Z (m):** A precisão XY do GCP/Check Point que foi dado pelo usuário na direção XY / A precisão Z do GCP/Check Point que foi dado pelo usuário na direção Z;
- **Erro X (m):** A diferença entre o ponto GCP/Check Point 3D calculado e a posição original na direção X (posição original - posição calculada);
- **Erro Y (m):** A diferença entre o ponto GCP/Check point 3D calculado e a posição original na direção Y (posição original - posição calculada);
- **Erro Z [m]:** A diferença entre o ponto GCP/Check point 3D calculado e a posição original na direção Z (posição original - posição calculada);
- **Erro de projeção (pixel):** Distância média nas imagens onde o GCP/Check Point foi marcado e onde foi reprojetoado;

- **Verificado/Marcado:**
 - **Verificado:** O número de imagens nas quais o GCP/Check Point foi marcado e são levadas em conta para a reconstrução;
 - **Marcado:** As imagens nas quais o GCP/Check Point foi marcado;
- **Média (m):** O erro médio/média em cada direção (X,Y, Z);
- **Sigma (m):** O desvio padrão do erro em cada direção (X,Y, Z);
- **Erro RMS (m):** O erro Root Mean Square em cada direção (X,Y, Z).

A seguir, quadros 4, 5, 6 e 7, é possível verificar a diferença entre os resultados obtidos para as diferentes configurações de voo e processamento.

Quadro 4: Comparação dos resultados. Feição 1.

ID	TIPO DE PROCESSAMENTO	MEDIDA EM CAMPO (m)	MEDIDA ORTOFOTO (m)	Diferença (m)
FEIÇÃO 1	5 m com GCPs	7,100	7,098	0,002
FEIÇÃO 1	10 m com GCPs	7,100	7,103	0,003
FEIÇÃO 1	10 m sem GCPs	7,100	7,098	0,002

Fonte: Autor, 2024.

Quadro 5: Comparação dos resultados. Feição 2.

ID	TIPO DE PROCESSAMENTO	MEDIDA EM CAMPO (m)	MEDIDA ORTOFOTO (m)	Diferença (m)
FEIÇÃO 2	5 m com GCPs	1,395	1,394	0,001
FEIÇÃO 2	10 m com GCPs	1,395	1,396	0,001
FEIÇÃO 2	10 m sem GCPs	1,395	1,392	0,003

Fonte: Autor, 2024.

Quadro 6: Comparação dos resultados. Feição 3.

ID	TIPO DE PROCESSAMENTO	MEDIDA EM CAMPO (m)	MEDIDA ORTOFOTO (m)	Diferença (m)
FEIÇÃO 3	5 m com GCPs	0,895	0,896	0,001
FEIÇÃO 3	10 m com GCPs	0,895	0,894	0,001
FEIÇÃO 3	10 m sem GCPs	0,895	0,891	0,004

Fonte: Autor, 2024.

Quadro 7: Comparação dos resultados. Feição 4.

ID	TIPO DE PROCESSAMENTO	MEDIDA EM CAMPO (m)	MEDIDA ORTOFOTO (m)	Diferença (m)
FEIÇÃO 4	5 m com GCPs	0,830	0,829	0,001
FEIÇÃO 4	10 m com GCPs	0,830	0,832	0,002
FEIÇÃO 4	10 m sem GCPs	0,830	0,831	0,001

Fonte: Autor, 2024.

No presente estudo, foi proposto testar diferentes distâncias de obtenção de imagens com o drone com o objetivo de avaliar o impacto na qualidade visual e métrica das ortofotos geradas, analisando a precisão da identificação das patologias. Foram testadas as distâncias de captura da fachada de 5 metros e 10 metros.

Dois métodos de levantamento fotogramétrico foram testados, o primeiro com uso de GCPs, gerou-se ortomosaicos com resolução espacial de 0,191 cm/pixel para distância de 5m e no segundo, 0,267cm/pixel para distância de 10m.

O RMS resultante do processamento para o voo de 5 m foi de 2,8 cm, e para o voo de 10 m, foi de 3,1 cm. Quando mensurados detalhes da fachada (na ortomagem) usando a ferramenta de medição no ambiente QGIS, uma diferença média nas quatro medidas de feições realizadas, resultou um erro de 0,125 cm para o voo de 5 m e de 0,175 cm para o voo de 10 m. Embora esses resultados pareçam

contraditórios à primeira vista, essa situação pode ser explicada pelos seguintes fatores:

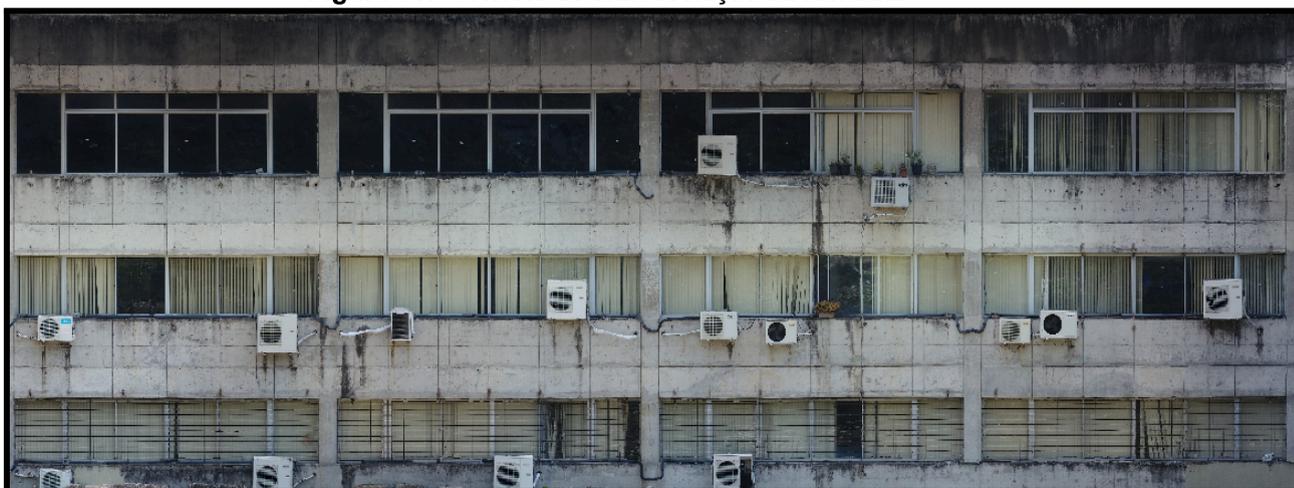
1. **Natureza do RMS:** O RMS resultante da aerotriangulação representa o erro médio de todos os pontos ajustados durante o processamento das imagens. Ele funciona com uma métrica global que reflete na precisão geral do levantamento, calculando a média dos desvios em relação às posições reais e conhecidas. Por outro lado, como o RMS é um valor médio, ele não indica a precisão em pontos específicos da ortofoto, mas sim um valor médio que representa toda extensão da ortofoto;
2. **Resolução e Precisão:** A ortofoto gerada pode apresentar precisão local mais alta do que o RMS global devido à qualidade das imagens capturadas e ao processamento fotogramétrico. Portanto, a resolução da câmera do drone e o processo de ortorretificação, influenciam diretamente na possibilidade de mensurar detalhes com alta precisão na ortofoto. Se as imagens capturadas durante o voo forem de alta resolução e o processamento fotogramétrico for bem realizado, é possível obter medições com uma acurácia maior do que a resultante do RMS.
3. **Distribuição dos erros considerados no RMS:** Como dito anteriormente, o RMS é uma média global, logo os erros não são uniformemente distribuídos em todo o levantamento. O RMS é uma média que pode omitir áreas onde os erros são menores nas direções. Portanto, em regiões específicas do levantamento, como partes da fachada que estão bem definidas nas imagens e bem cobertas por todo o levantamento, os erros podem ser menores, resultando em medições mais precisas na ortofoto do que o valor global de RMS. A precisão local depende, em grande parte, da densidade e da distribuição dos pontos de controle ou pontos de amarração no levantamento fotogramétrico. Em áreas próximas a esses pontos, ou onde a sobreposição das imagens e a qualidade do levantamento foram mais favoráveis, é possível observar maior acurácia nas medições. Por isso, mesmo que o RMS global indique um desvio maior, as medições locais podem apresentar variações menores, como observados nas medições das ortofotos deste trabalho.

Desta forma, podemos considerar neste caso específico, que o RMS na aerotriangulação não refletiu diretamente a precisão das medições na ortofoto, mas sim o ajuste dos pontos durante o processamento das imagens. A diferença observada pode ser atribuída ao fato de que, apesar de um erro global médio maior, o processamento local foi suficientemente preciso para permitir medições com menor desvio em áreas específicas da fachada.

E - IDENTIFICAÇÃO DE PATOLOGIAS

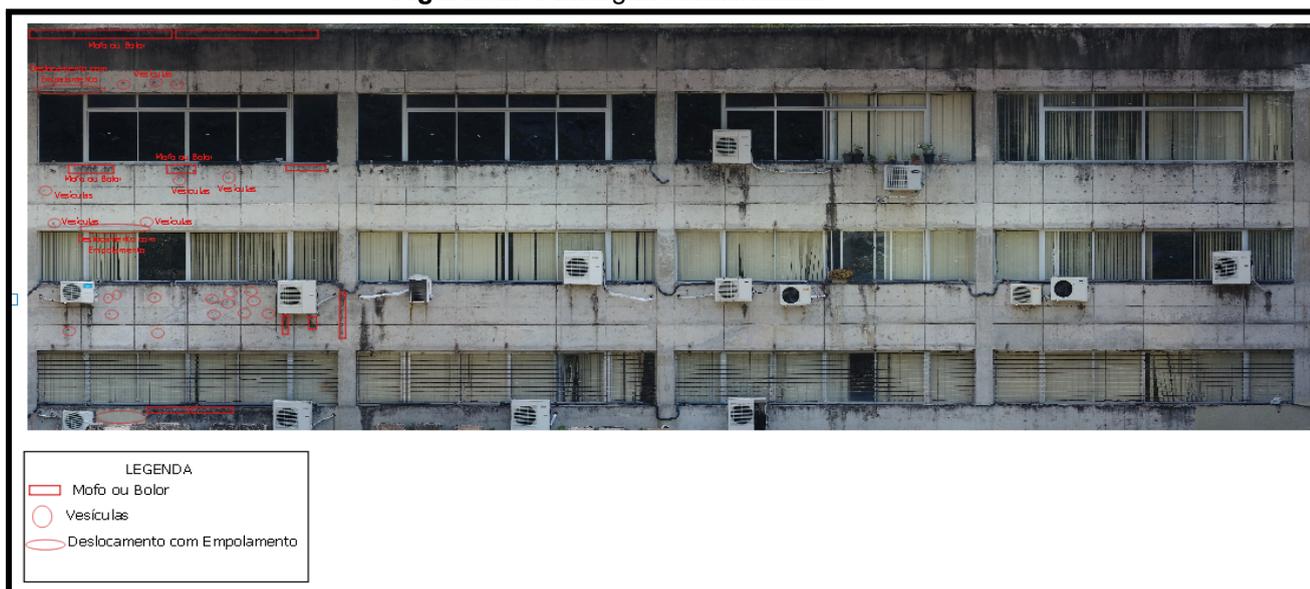
Após a aquisição de imagens através do uso de drones, foram geradas ortofotos de alta resolução da fachada, Figura 81. A partir dela, foi possível realizar uma análise detalhada das condições das superfícies, com o objetivo de identificar diferentes patologias que afetam a estrutura da fachada, conforme Figura 82.

Figura 81: Ortofoto de alta resolução da fachada.



Fonte: Pix4DMapper, 2024.

Figura 82: Patologias identificadas.

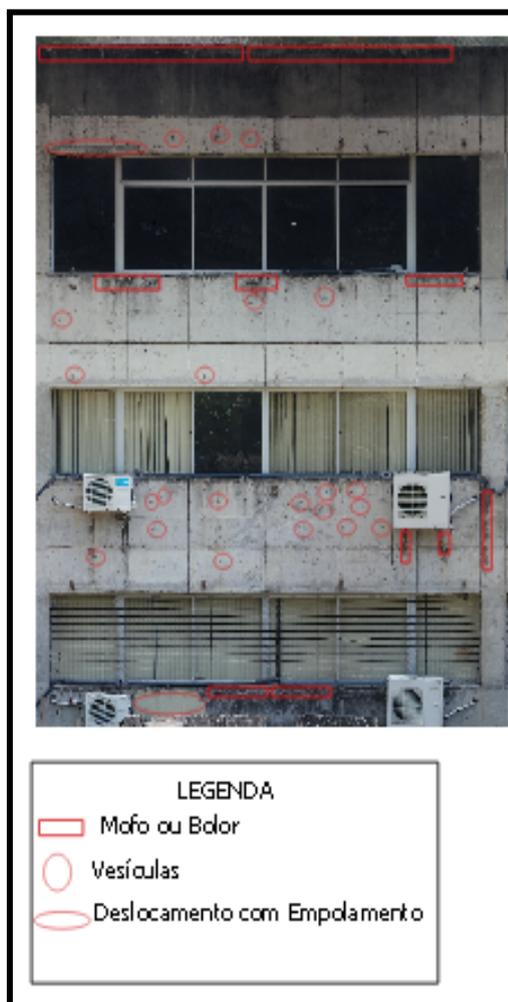


Fonte: Pix4DMapper, 2024.

A identificação das patologias na fachada foi realizada de forma manual, usando o software SIG QGIS para visualização direta na ortofoto, usando ferramentas de ampliação e de mensuração no ambiente SIG. Na ortofoto, se

destacou cada patologia individualmente, As patologias foram marcadas na ortofoto, conforme Figuras 82, 83, 84 e 85, isso facilitou a localização, identificação e uma análise visual detalhada. Ao realizar a inspeção visual em cada área marcada, identificada como áreas comprometidas, foi possível verificar as seguintes patologias: Mofo (Bolor); Vesículas; Deslocamento com empolamento.

Figura 83: Patologias identificadas em uma área da fachada.



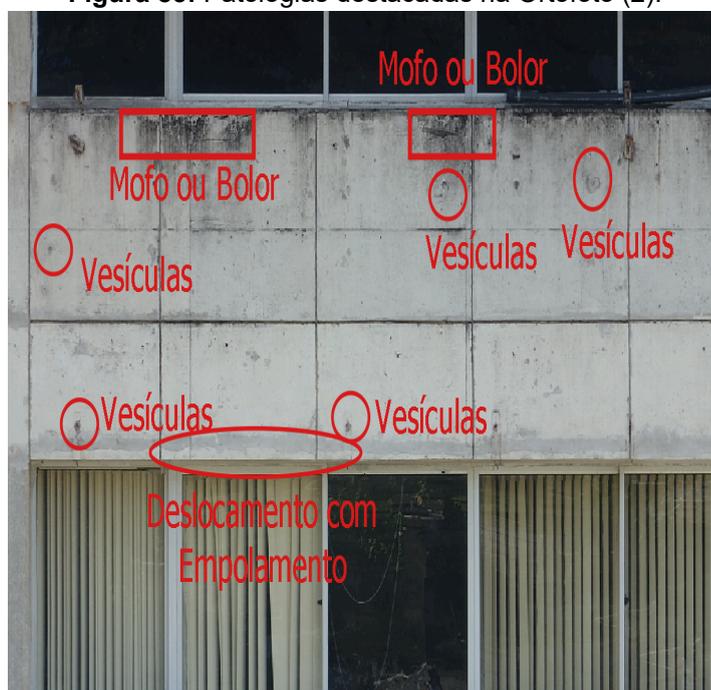
Fonte: Qgis, 2024.

Figura 84: Patologias destacadas na Ortofoto (1).



Fonte: Qgis, 2024.

Figura 85: Patologias destacadas na Ortofoto (2).



Fonte: Qgis, 2024.

Além da identificação das patologias na ortofoto, é importante ressaltar que essas imagens de alta resolução também permitem a mensuração precisa das áreas afetadas. Logo, é possível calcular, com precisão, dimensões como: largura e comprimento de mofos; largura e comprimento vesículas, entre outros, conforme os resultados vistos nos itens 5.A e 5.D.

6 CONCLUSÕES

O desempenho do SfM teve um papel essencial na criação de modelos tridimensionais detalhados e na geração de ortomosaicos da fachada, o que facilita não apenas a identificação, análise das anomalias, mas também possibilita avanços na automação desse processo, trazendo benefícios como rapidez no levantamento de dados e acessibilidade, sem a necessidade de maiores esforços de acesso ao local de inspeção, como é o caso de uso de andaimes e rapel. Ao gerar modelos precisos com informações de textura e geometria, esta metodologia fornece uma base rica de dados para possíveis implementações de algoritmos de visão computacional (IA).

O modelo ortomosaico gerado sem o uso de GCPs, apresentou resultados com resolução espacial de 0,27 cm/pixel e diferença média de medição das feições de 0,25 cm em relação aos valores mensurados diretamente na fachada, representando a vista ortogonal da fachada de forma fidedigna, conclui-se que estes parâmetros resultantes são considerados satisfatórios para identificação de patologias.

No teste de 5 m, o resultado da aerotriangulação apresentou RMS de 2,8 cm, o ortomosaico resolução espacial de 0,191 cm/pixel e diferença média de 0,125 cm em relação aos valores mensurados das feições na ortofoto e os valores mensurados das feições em campo, enquanto o teste de 10 m, o resultado da aerotriangulação apresentou RMS de 3,1 cm, o ortomosaico resolução espacial de 0,267 cm/pixel e diferença média de 0,175 cm em relação aos valores mensurados das feições na ortofoto e os valores mensurados das feições em campo. Portanto, é observado que a acurácia das medidas das feições mensuradas nos dois testes de voos, tem os valores próximos, e que se demonstraram eficazes na identificação de patologias na fachada de estudo. Contudo, realizar voos com distâncias maiores em relação a fachada, torna o levantamento fotogramétrico mais seguro, uma vez que drones possuem sensores de proximidade de obstáculos e voos muito próximos do alvo, o operador necessita desativar este tipo de sensor para conseguir realizar a captura de imagens, tornando o levantamento mais vulnerável a danificar o equipamento (drone) ou até mesmo risco humano. Logo, conclui-se que o voo com 10 m de distância da fachada é o aconselhável para este tipo de tarefa.

A utilização de ortofotos geradas por drones demonstrada neste trabalho, representa uma ferramenta eficaz na inspeção e identificação de patologias em fachadas. A abordagem visual e manual permitiu a marcação precisa das áreas afetadas, facilitando a compreensão da distribuição das patologias presentes nos elementos construtivos, como desagregação de revestimentos, manchas de umidade e outros problemas estruturais. Embora o processo de identificação tenha sido feito de forma manual, a tecnologia utilizada proporcionou imagens que poderiam ser exploradas ainda mais, possibilitando a mensuração precisa das patologias diretamente no ortofoto.

Desta forma, o estudo comprova que a análise visual de ortofotos, em conjunto da possibilidade de mensuração detalhada, pode fornecer informações valiosas para a tomada de decisões corretivas, contribuindo para a manutenção e conservação da fachada.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A qualidade dos resultados depende de diversos fatores: resolução das imagens; sobreposição inadequada das imagens capturadas; distribuição e quantidade de pontos de controle. Entre estes fatores, destaca-se a distribuição e quantidade de pontos de controle no levantamento. Neste trabalho, os pontos de controle utilizados, foram levantados como pontos naturais, ou seja, elementos pertencentes a fachada, que no caso específico, foram marcados nos limites superiores das esquadilhas das janelas, popularmente dito como quinas. Uma má distribuição dos pontos de controle na fachada, pode afetar diretamente a precisão do RMS obtido na aerotriangulação, e o ocorrido, foram os pontos de controle deste trabalho, ficarem em locais que são afetados na hora da captura das imagens, devido a profundidade das esquadilhas na fachada, resultando em um RMS discrepante em relação a qualidade da ortofoto gerada. Uma solução de aprimoramento do processamento fotogramétrico, é aumentar a densidade de pontos de controle, distribuídos de forma estratégica ao longo de toda a fachada, podendo ajudar a melhorar a precisão e reduzir discrepâncias.

Os resultados obtidos neste trabalho, em termos de comparação a mensuração dos detalhes da fachada medidos em campo, e detalhes medidos

diretamente na ortofoto, é importante ressaltar que as medidas efetuadas em campo, com o uso de trena de fibra de vidro, podem sofrer imprecisões, devido a diversos fatores que influenciam a precisão das medições manuais. Algumas dessas imprecisões incluem: dilatação térmica; curvatura da trena; precisão de leitura; erro humano. Com isso, os resultados obtidos medidos diretamente na ortofoto, podem sofrer alteração nos valores mensurados.

Em termos de limitações, neste trabalho, optou-se por realizar o voo manual do drone em vez de utilizar softwares de planejamento de voo automatizados. Essa decisão foi baseada em inconsistências no comportamento dos softwares de planejamento, quanto ao momento de definir a trajetória de voo em relação à fachada. Foi observado que o drone não mantinha a distância planejada em relação à estrutura, por exemplo, quando a distância de 5 metros era definida para a captura de imagens, o drone, em diferentes momentos, voava ou muito próximo, ou muito distante da fachada. Esta variação, compromete uniformemente a qualidade esperada da resolução das imagens capturadas, como também a segurança do equipamento. Diante deste comportamento, nota-se que a base de mapas utilizadas pelos softwares de planejamento, apresentam um deslocamento nas suas direções, resultando em erros de posicionamento.

Como avanço tecnológico, os resultados do estudo demonstraram que a utilização de drones para inspeção de fachadas é uma solução eficaz e inovadora, especialmente em comparação com os métodos tradicionais, assim, os drones permitiram a captura de imagens de alta resolução e a geração de modelos fotorealistas detalhados da fachada, que foram fundamentais para a identificação de anomalias e desgastes nas estruturas.

No quesito segurança, o uso de drones reduziu significativamente os riscos associados às inspeções manuais, como quedas de altura e exposição prolongada a condições perigosas. Isso destaca uma das principais vantagens do uso de drones: a minimização dos riscos para os trabalhadores envolvidos.

8 REFERÊNCIAS

ACOSTA, LM et al. **Explorando alternativas tecnológicas ao método de inspeção visual no ambiente construído**. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, v. 222, n. 1, p. 1-10, 2019. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/222/1/012027>

Aicardi, I., Chiabrando, F., Grasso, N., Lingua, A. M., Noardo, F., & Spanó, A. (2016). **UAV photogrammetry with oblique images: First analysis on data acquisition and processing**. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives, 2016-January*, 835–842. Disponível em : <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XLI-B1-835-2016>

BALLESTEROS, R. D.; LORDSLEEM JUNIOR, A. C. **VEÍCULOS Aéreos Não Tripulados (VANT) para inspeção de manifestações patológicas em fachadas com revestimento cerâmico**. *Ambiente Construído, Porto Alegre*, v. 21, n. 1, p. 119-137, jan./mar. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s1678-86212021000100497>.

Boscatto, Flavio. **Diretrizes para o levantamento topográfico e geodésico do patrimônio cultural material**. Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis, 2014.

Blog Professor Ademilson. **Posicionamento por ponto preciso**. Disponível em: <https://adenilsongiovanini.com.br/blog/posicionamento-por-ponto-preciso/>. Acesso em: 18 ago. 2024.

Costa, F., & Lopes, G. (2017). **Georreferenciamento em Levantamentos com Drones: Uma Abordagem Prática**. *Geociências Aplicadas*, 5(1), 39-48.

Da, L., & Bueno, S. (n.d.). **FOTOGRAMETRIA DIGITAL: FORMAÇÃO TÉCNICA, EMPREENDEDORA, VOLTADA A SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL E SOCIAL NA MATRIZ DO CURSO DE ENGENHARIA CIVIL DA UNIARP CAMPUS CAÇADOR/SC**. IGNIS, Periódico Científico de Arquitetura e Urbanismo, Engenharias e Tecnologia da Informação, v.8, n.1 (2019). Disponível em: <https://periodicos.uniarp.edu.br/index.php/ignis/article/view/2238>

EL-HAKIM, S.; REMONDINO, F.; KRAUS, K.; SOERTEL, U. **3D Imaging and Modeling for Heritage Conservation**. Springer, 2020.
<https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-14551-3>

Ferreira, J., Almeida, M., & Silva, R. (2021). **Uso de Drones com RTK para Levantamentos Fotográficos**. Revista de Engenharia e Tecnologia, 9(3), 21-30.
<https://doi.org/10.5901/ajis.2014.vw3n7p123>

França, L. L. S., de Seixas, A., Gama, L. F., & de Moraes, J. N. (2021). **Optimized determination of 3d coordinates in the survey of inaccessible points of buildings-example of application implemented in free software**. *Boletim de Ciências Geodésicas*, 27(2). <https://doi.org/10.1590/1982-2170-2020-0057>

Furukawa, Y., Curless, B., Seitz, SM, & Szeliski, R. (2010). **Rumo ao estéreo multivisualização em escala de Internet**. 2010 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 1434–1441.

Galdino De Oliveira, A., Verônica, S., Bezerra, W., & Andréa De Seixas¹, A. (n.d.). **Métodos de levantamentos topográficos planimétricos para o georreferenciamento de imóveis rurais**. Anais 1º Simpósio no Pantanal, Campo Grande, Brasil. 11-15 Novembro de 2006.

Kaplan, E. D., & Hegarty, C. J. (2005). **Understanding GPS: Principles and Applications**. Artech House.

Liang, H., Lee, S.-C., & Seo, S. (2023). **UAV-Based Low Altitude Remote Sensing for Concrete Bridge Multi-Category Damage Automatic Detection System.** <https://doi.org/10.3390/drones7060386>

LUHMANN, T.; ROBSON, S.; KYLE, S.; BOEHM, J. **Close-Range Photogrammetry and 3D Imaging.** De Gruyter, 2014. <https://doi.org/10.1515/9783111029672-001>

Machado, A. A., & Camboim, S. P. (2019). **Disambiguation of the Terms of Large Scale Topographic Mapping and Cadastral Mapping in Brazil.** *Revista Brasileira de Cartografia*, 71(2), 295–327. Disponível em: <https://doi.org/10.14393/rbcv71n2-44528>.

Magalhães, L. dos S., & Souza, R. C. F. de. (2022). **Fotogrametria e catálogos digitais de esculturas e outros marcos urbanos: recursos para cibercultura museal.** *Gestão & Tecnologia De Projetos*, v.17, n.2, p. 113-126. <https://doi.org/10.11606/gtp.v17i2.175164>.

Mendes, M. V. A. da S., de la Fé, E. P., Melo, M. B., & Júnior, C. M. M. (2022). **Damages mapping of façade using Aerophotogrammetry and Thermography Inspection: Zoroastro Artiaga Museum – Art Deco in Brazil.** *Revista Materia*, 27(3). Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1517-7076-RMAT-2022-0031>.

Oliveira, A. A., Graças, G. M., Lopes, L. K., Rezende, P. H. F. **INSPEÇÃO DE MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM FACHADAS UTILIZANDO AERONAVES REMOTAMENTE PILOTADAS.**

Peña-Villasenín, S., Gil-Docampo, M., & Ortiz-Sanz, J. (2020). **Desktop vs cloud computing software for 3D measurement of building façades: The monastery of San Martín Pinario.** *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, 149.

Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2019.106984>

Pérez-Portugal, A., Atencio, E., Muñoz-La Rivera, F., & Herrera, R. F. (2023). **Calibration of UAV Flight Parameters to Inspect the Deterioration of Heritage**

Façades Using Orthogonal Arrays. Sustainability (Switzerland), 15(1). Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su15010232>.

Pinto, L., & Medeiros, F. (2020). **Planejamento de Missões com Drones para Levantamentos Fotogramétricos.** Geotecnologias Aplicadas, 8(4), 50-65.

Rabiu, L., & Waziri, D. A. (2014). **Digital Orthophoto Generation with Aerial Photographs. Academic Journal of Interdisciplinary Studies.** <https://doi.org/10.5901/ajis.2014.v3n7p133>.

SANZ-ABLANEDO, E.; ORDÓÑEZ, C. *Uma abordagem para otimizar o número de pontos de controle terrestre em fotogrametria de UAV . Sensoriamento remoto* , v. 10, n. 10, 2018, p. 1606. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/rs10101606> .

Schönberger, J. L., & Frahm, J.-M. (n.d.). **Structure-from-Motion Revisited.** IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Las Vegas, NV, USA, p. 4104 - 4113, 12 de dezembro de 2016.

Silva, M., & Rodrigues, F. (2019). **Calibração de Equipamentos para Levantamentos Georreferenciados com Drones.** Geomática e Tecnologia.

Slocum, T. A. (2014). **GIS and GPS integration: issues and challenges.** GIS/LIS'94, 17(2), 125-133.

SOERGEL, U. **Digital Photogrammetry: A Practical Course.** Springer, 2018. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-662-56170-4>.

Souza, Anderson Lima de. **PRINCIPAIS MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS ENCONTRADAS EM REVESTIMENTOS ARGAMASSADOS.** Revista Base Científica – ISSN:2675-7478, v.2, n.1, p. 101 -125. Dezembro de 2021.

Disponível em:

<https://revistabase.com.br/2021/12/23/principais-manifestacoes-patologicas-encontradas-em-revestimentos-argamassados/>

TOLENTINO, Mônica Martins A. **A utilização do HBIM na documentação, na gestão e na preservação do Patrimônio Arquitetônico.** Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo da Faculdade de Arquitetura da Universidade Federal da Bahia, como requisito parcial para 31 obtenção do título de Doutora em Arquitetura e Urbanismo. UFBA, 2018.

TONDELO, Patricia Geittenes; BARTH, Fernando. **Análise das manifestações patológicas em fachadas por meio de inspeção com VANT.** Parc - Pesquisa em Arquitetura e Construção, [s.l.], v. 10, p. 1-18, 26 fev. 2019. Universidade Estadual de Campinas. Disponível em: <http://doi.org/10.20396/parc.v10i0.8652817>.

Viana, C. D., Grohmann, C. H., dos Santos Toledo Busarello, M., & Garcia, G. P. B. (2018). **Structural analysis of clastic dikes using Structure from Motion - Multi-View Stereo: A case-study in the Paraná Basin, southeastern Brazil.** *Brazilian Journal of Geology*, 48(4), 839–852.

Disponível em: <https://doi.org/10.1590/2317-4889201800201898>

Zhang, Y., & Li, H. (2014). *Precise Point Positioning for Geodetic Applications.* Springer.

9 APÊNDICES

APÊNDICE A - RELATÓRIO PROCESSAMENTO PPP BASE P1



Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
Relatório do Posicionamento por Ponto Preciso (PPP)

Sumário do Processamento do marco: 0000

Início:AAAA/MM/DD HH:MM:SS,SS	2023/03/17 18:36:45,00
Fim:AAAA/MM/DD HH:MM:SS,SS	2023/03/17 19:33:10,00
Modo de Operação do Usuário:	ESTÁTICO
Observação processada:	CÓDIGO & FASE
Modelo da Antena:	NÃO DISPONÍVEL
Órbitas dos satélites: ¹	RÁPIDA
Frequência processada:	L3
Intervalo do processamento(s):	1,00
Sigma ² da pseudodistância(m):	5,000
Sigma da portadora(m):	0,010
Altura da Antena ³ (m):	2,000
Ângulo de Elevação(graus):	10,000
Resíduos da pseudodistância(m):	4,85 GPS 10,54 GLONASS
Resíduos da fase da portadora(cm):	1,12 GPS 1,28 GLONASS

Coordenadas SIRGAS

	Latitude(gms)	Longitude(gms)	Alt. Geo.(m)	UTM N(m)	UTM E(m)	MC
Em 2000.4 (é a que deve ser usada) ⁴	-8° 03' 01,8799"	-34° 57' 15,7938"	3,72	9109602.232	284614.317	-33
Na data do levantamento ⁵	-8° 03' 01,8713"	-34° 57' 15,7963"	3,72	9109602.495	284614.239	-33
Sigma(95%) ⁶ (m)	0,016	0,051	0,108			

Coordenada Altimétrica

Modelo:	hgs:HNOR_IMBITUBA		
Fator para Conversão (m):	-5,65	Incerteza (m):	0,06
Altitude Normal (m):	9,37		

Precisão esperada para um levantamento estático (metros)

Tipo de Receptor	Uma frequência		Duas frequências	
	Planimétrico	Altimétrico	Planimétrico	Altimétrico
Após 1 hora	0,700	0,600	0,040	0,040
Após 2 horas	0,330	0,330	0,017	0,018
Após 4 horas	0,170	0,220	0,009	0,010
Após 6 horas	0,120	0,180	0,005	0,008

¹ Órbitas obtidas do International GNSS Service (IGS) ou do Natural Resources of Canada (NRCan).

² O termo "Sigma" é referente ao desvio-padrão.

³ Distância Vertical do Marco ao Plano de Referência da Antena (PRA).

⁴ A coordenada oficial na data de referência do Sistema SIRGAS, ou seja, 2000.4. A redução de velocidade foi feita na data do levantamento, utilizando o modelo VEMOS em 2000.4.

⁵ A data de levantamento considerada é a data de início da sessão.

⁶ Este desvio-padrão representa a confiabilidade interna do processamento e não a exatidão da coordenada.

Os resultados apresentados neste relatório dependem da qualidade dos dados enviados e do correto preenchimento das informações por parte do usuário. Em caso de dúvidas, críticas ou sugestões contatar: <https://www.ibge.gov.br/atendimento.html> ou pelo telefone 0800-7218181. Este serviço de posicionamento faz uso do aplicativo de processamento CORS-PPP desenvolvido pelo Geodetic Survey Division of Natural Resources of Canada (NRCan).

Processamento autorizado para uso do IBGE.

APÊNDICE B - RELATÓRIO PROCESSAMENTO PPP BASE P2



Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
Relatório do Posicionamento por Ponto Preciso (PPP)

Sumário do Processamento do marco: 0000

Início:AAAA/MM/DD HH:MM:SS,SS	2023/04/01 17:08:20,00
Fim:AAAA/MM/DD HH:MM:SS,SS	2023/04/01 18:22:08,00
Modo de Operação do Usuário:	ESTÁTICO
Observação processada:	CÓDIGO & FASE
Modelo da Antena:	NÃO DISPONÍVEL
Órbitas dos satélites: ¹	RÁPIDA
Frequência processada:	L3
Intervalo do processamento(s):	1,00
Sigma ² da pseudodistância(m):	5,000
Sigma da portadora(m):	0,010
Altura da Antena ³ (m):	2,000
Ângulo de Elevação(graus):	10,000
Resíduos da pseudodistância(m):	4,56 GPS 11,84 GLONASS
Resíduos da fase da portadora(cm):	1,15 GPS 1,19 GLONASS

Coordenadas SIRGAS

	Latitude(gms)	Longitude(gms)	Alt. Geo.(m)	UTM N(m)	UTM E(m)	MC
Em 2000.4 (E a que deve ser usada) ⁴	-8° 03' 01,8467"	-34° 57' 16,1510"	3,75	9109603.199	284603.373	-33
Na data do levantamento ⁵	-8° 03' 01,8381"	-34° 57' 16,1535"	3,75	9109603.463	284603.295	-33
Sigma(95%) ⁶ (m)	0,013	0,073	0,056			

Coordenada Altimétrica

Modelo:	hgeoHNOR_IMBITUBA	
Fator para Conversão (m):	-5,65	Incerteza (m): 0,06
Altitude Normal (m):	9,40	

Precisão esperada para um levantamento estático (metros)

Tipo de Receptor	Uma frequência		Duas frequências	
	Planimétrico	Altimétrico	Planimétrico	Altimétrico
Após 1 hora	0,700	0,600	0,040	0,040
Após 2 horas	0,330	0,330	0,017	0,018
Após 4 horas	0,170	0,220	0,009	0,010
Após 6 horas	0,120	0,180	0,005	0,008

¹ Órbitas obtidas do International GNSS Service (IGS) ou do Natural Resources of Canada (NRCan).

² O termo "Sigma" é referente ao desvio-padrão.

³ Distância Vertical do Marco ao Plano de Referência da Antena (PRA).

⁴ A coordenada oficial na data de referência do Sistema SIRGAS, ou seja, 2000.4. A redução de velocidade foi feita na data do levantamento, utilizando o modelo VEMOS em 2000.4.

⁵ A data de levantamento considerada é a data de início da sessão.

⁶ Este desvio-padrão representa a confiabilidade interna do processamento e não a exatidão da coordenada.

Os resultados apresentados neste relatório dependem da qualidade dos dados coletados e do correto preenchimento das informações por parte do usuário. Em caso de dúvidas, críticas ou sugestões contate: <https://www.ibge.gov.br/atendimento.html> ou pelo telefone 0800-7218181. Este serviço de posicionamento faz uso do aplicativo de processamento CSRS-PPP desenvolvido pelo Geodetic Survey Division of Natural Resources of Canada (NRCan).

Processamento autorizado para uso do IBGE.

APÊNDICE C - CADERNETA DE CAMPO LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO

		ALTURA DO INSTRUMENTO P1 (m)	ALTURA DO PRISMA P2 (m)								
ESTAÇÃO: P1		1,544	2,0								
PONTO VISADO		ÂNGULO HORIZONTAL			ANG. HORIZONTAL (DECIMAL)	DISTÂNCIA INCLINADA	ÂNGULO ZENITAL			ANG. ZENITAL (DECIMAL)	
RÉ	VANTE	G	M	S							
P2	F1	212	39	47	212,6631	28,905	87	50	22	87,839	
	F2	212	38	30	212,6417	28,900	81	46	41	81,778	
	F3	212	38	5	212,6347	28,903	75	8	35	75,143	
	F4	222	49	59	222,8331	22,960	87	15	26	87,257	
	F5	222	48	40	222,8111	22,951	79	42	18	79,705	
	F6	222	48	5	222,8014	22,940	71	32	55	71,549	
	F7	239	7	4	239,1178	18,183	86	33	8	86,552	
	F8	239	8	19	239,1386	18,179	77	6	37	77,110	
	F9	239	4	44	239,0789	18,158	67	8	21	67,139	
	F10	263	16	26	263,2739	15,731	86	2	12	86,037	
	F11	263	16	27	263,2742	15,706	75	7	57	75,133	
	F12	263	18	48	263,3133	15,698	64	0	27	64,008	
	F13	308	58	22	308,9728	20,118	86	53	40	86,894	
	F14	309	0	15	309,0042	20,100	78	15	43	78,262	
	F15	309	2	25	309,0403	20,106	69	10	43	69,179	

APÊNDICE D - CADERNETA DE CAMPO LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO

		ALTURA DO INSTRUMENTO P1 (m)	ALTURA DO PRISMA P2 (m)								
ESTAÇÃO: P2		1,505	2,0								
PONTO VISADO		ÂNGULO HORIZONTAL			ANG. HORIZONTAL (DECIMAL)	DISTÂNCIA INCLINADA	ÂNGULO ZENITAL			ANG. ZENITAL (DECIMAL)	
RÉ	VANTE	G	M	S							
P1	F1	23	36	38	23,6106	39,027	88	20	44	88,346	
	F2	23	34	59	23,5831	39,036	83	49	40	83,828	
	F3	23	34	59	23,5831	39,034	78	49	36	78,827	
	F4	28	56	29	28,9414	32,296	87	58	25	87,974	
	F5	29	0	42	29,0117	32,365	82	35	8	82,586	
	F6	28	55	13	28,9203	32,282	76	35	30	76,592	
	F7	36	58	17	36,9714	25,871	87	29	46	87,496	
	F8	36	58	18	36,9717	25,974	80	48	47	80,813	
	F9	36	54	47	36,9131	25,957	73	28	42	73,478	
	F10	49	41	16	49,6878	20,508	86	50	24	86,840	
	F11	49	37	54	49,6317	20,482	78	22	52	78,381	
	F12	49	39	3	49,6508	20,467	69	23	15	69,388	
	F13	94	30	9	94,5025	15,674	85	50	47	85,846	
	F14	94	29	22	94,4894	15,657	74	54	25	74,907	
	F15	94	32	47	94,5464	15,658	63	49	48	63,830	

APÊNDICE E - PLANILHA DE CÁLCULO DAS COORDENADAS DOS PONTOS DE CONTROLE

COORDENADAS CONHECIDAS							
P1-X1	284.614,317		P2-X2	284.603,373			
P1-Y1	9.109.602,232		P2-Y2	9.109.603,199			
P1-H1	9,37		P2-H2	9,40			
ID	DELTAS		QUADRANTE	(DeltaX / Delata Y)	ArcTang	Azimute Decimal	
	X2-X1	Y2-Y1					
P1-P2	-10,944	0,967	NO	-11,31747675	-1,482666286	275,04947940	
P2-P1	10,944	-0,967	SE	-11,31747675	-1,482666286	95,0494794	
ID	AZIMUTES		ID	COORDENADA E(m)	COORDENADA N(m)	Diferença Nível	H(m)
P1-F1	127,7125		F1	284.637,183	9.109.584,551	2,634	12,004
P1-F2	127,6911		F2	284.637,186	9.109.584,562	5,677	15,047
P1-F3	127,6842		F3	284.637,191	9.109.584,563	8,955	18,325
P1-F4	137,8825		F4	284.629,715	9.109.585,201	2,643	12,013
P1-F5	137,8606		F5	284.629,716	9.109.585,214	5,646	15,016
P1-F6	137,8509		F6	284.629,711	9.109.585,224	8,805	18,175
P1-F7	154,1673		F7	284.622,240	9.109.585,866	2,638	12,008
P1-F8	154,1881		F8	284.622,232	9.109.585,867	5,599	14,969
P1-F9	154,1284		F9	284.622,240	9.109.585,894	8,598	17,968
P1-F10	178,3234		F10	284.614,777	9.109.586,508	2,631	12,001
P1-F11	178,3236		F11	284.614,776	9.109.586,533	5,574	14,944
P1-F12	178,3628		F12	284.614,765	9.109.586,540	8,424	17,794
P1-F13	224,0223		F13	284.600,336	9.109.587,766	2,634	12,004
P1-F14	224,0536		F14	284.600,341	9.109.587,786	5,633	15,003
P1-F15	224,0898		F15	284.600,328	9.109.587,791	8,691	18,061

APÊNDICE F - PLANILHA DE CÁLCULO DAS COORDENADAS DOS PONTOS DE CONTROLE

COORDENADAS CONHECIDAS							
P1-X1	284.614,317		P2-X2	284.603,373			
P1-Y1	9.109.602,232		P2-Y2	9.109.603,199			
P1-H1	9,37		P2-H2	9,40			
ID	DELTAS		QUADRANTE	(DeltaX / Delata Y)	ArcTang	Azimute Decimal	
	X2-X1	Y2-Y1					
P1-P2	-10,944	0,967	NO	-11,31747675	-1,482666286	275,04947940	
P2-P1	10,944	-0,967	SE	-11,31747675	-1,482666286	95,0494794	
ID	AZIMUTES		ID	COORDENADA E(m)	COORDENADA N(m)	Diferença H(m)	H(m)
P2-F1	118,66003495		F1	284.637,618	9.109.584,481	2,632	12,032
P2-F2	118,63253495		F2	284.637,635	9.109.584,493	5,702	15,102
P2-F3	118,63253495		F3	284.637,634	9.109.584,494	9,069	18,469
P2-F4	123,99086829		F4	284.630,150	9.109.585,144	2,647	12,047
P2-F5	124,06114607		F5	284.630,185	9.109.585,072	5,682	15,082
P2-F6	123,96975718		F6	284.630,146	9.109.585,161	8,991	18,391
P2-F7	132,02086829		F7	284.622,593	9.109.585,881	2,635	12,035
P2-F8	132,02114607		F8	284.622,669	9.109.585,812	5,652	15,052
P2-F9	131,96253495		F9	284.622,674	9.109.585,843	8,887	18,287
P2-F10	144,73725718		F10	284.615,213	9.109.586,454	2,635	12,035
P2-F11	144,68114607		F11	284.615,214	9.109.586,487	5,630	15,030
P2-F12	144,70031273		F12	284.615,200	9.109.586,495	8,710	18,110
P2-F13	189,55197940		F13	284.600,772	9.109.587,742	2,640	12,040
P2-F14	189,53892384		F14	284.600,778	9.109.587,758	5,582	14,982
P2-F15	189,59586829		F15	284.600,763	9.109.587,760	8,411	17,811