



UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA

VICTOR SILVA GOMES

AEROFOTOGRAMETRIA COLABORATIVA COM AERONAVE REMOTAMENTE
PILOTADA DE BAIXO CUSTO E SOFTWARE LIVRE EM COMUNIDADES
URBANAS DE SIMÕES FILHO-BA

SALVADOR

2025

VICTOR SILVA GOMES

AEROFOTOGRAMETRIA COLABORATIVA COM AERONAVE REMOTAMENTE
PILOTADA DE BAIXO CUSTO E SOFTWARE LIVRE EM COMUNIDADES
URBANAS DE SIMÕES FILHO-BA

TCC apresentado como requisito parcial à conclusão do curso de Engenharia de Agrimensura e Cartográfica da disciplina GENG0045 TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO II, do Departamento de Engenharia de Transportes e Geodésia da Universidade Federal da Bahia.

Orientador: Prof. Dr. Fabiano Peixoto Freiman
Coorientadora: Prof^a Dr.^a Patrícia Lustosa Brito

SALVADOR

2025

G633 Gomes, Victor Silva.

Aerofotogrametria colaborativa com aeronave remotamente pilotada de baixo custo e software livre em comunidades urbanas de Simões Filho -BA / Victor Silva Gomes. – Salvador, 2025.

43f.: il. color.

Orientador: Prof. Dr. Fabiano Peixoto Freiman.

Coorientadora: Profa. Dra. Patrícia Lustosa Brito.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Graduação em Engenharia de Agrimensura e Cartográfica, Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, 2025.

1. Aerofotogrametria. 2. Mapeamento colaborativo. 3. Comunidades urbanas. I. Freiman, Fabiano Peixoto. II. Brito, Patrícia Lustosa. III. Universidade Federal da Bahia. IV. Título.

CDD: 778.3


Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Bernadete
Sinay Neves, Escola Politécnica – UFBA.

TERMO DE APROVAÇÃO

VICTOR SILVA GOMES

AEROFOTOGRAMETRIA COLABORATIVA COM AERONAVE REMOTAMENTE PILOTADA DE BAIXO CUSTO E SOFTWARE LIVRE EM COMUNIDADES URBANAS DE SIMÕES FILHO-BA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Graduação em Engenharia de Agrimensura e Cartográfica, Departamento de Engenharia de Transportes e Geodésia - Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Agrimensura e Cartográfica.

Documento assinado digitalmente
 **FABIANO PEIXOTO FREIMAN**
Data: 01/12/2025 19:20:09-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>


Prof.º Dr. Fabiano Peixoto Freiman

Orientador(a) – Departamento de Engenharia de Transportes e Geodésia, UFBA




Prof.ª Patrícia Lustosa Brito

Coorientadora - Departamento de Engenharia de Transportes e Geodésia, UFBA

Documento assinado digitalmente
 **FERNANDA PUGA SANTOS CARVALHO**
Data: 01/12/2025 19:40:33-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof(a). Fernanda Puga Carvalho

Membro - Departamento de Engenharia de Transportes e Geodésia, UFBA

Documento assinado digitalmente
 **ELIAS NASR NAIM ELIAS**
Data: 01/12/2025 17:31:07-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Elias Nasr Naim Elias

Membro Externo - Departamento de Engenharia Cartográfica, UERJ

Salvador, 27 de Novembro de 2025.

Dedico este trabalho à dona Maria José, minha mãe e a Nelson Gomes, meu pai.

"Os mais sinceros agradecimentos a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a conclusão desta pesquisa e da minha jornada acadêmica.

Em primeiro lugar, a Deus, pela força, resiliência e discernimento concedidos ao longo desta longa e desafiadora trajetória universitária. Agradeço imensamente aos meus pais, Dona Maria José Costa Silva e Nelson Gomes Filho, cuja garra e amor incondicional superaram todos os obstáculos acadêmicos e financeiros, garantindo o suporte para que eu pudesse alcançar este objetivo.

Posteriormente, ao meu orientador, Professor Fabiano, a quem sou grato pela confiança, paciência e orientação impecável. Seu auxílio foi fundamental para a superação de problemas acadêmicos, e sua postura solícita e compreensiva foi crucial em momentos delicados.

A todos os professores que moldaram minha formação, tanto profissional quanto pessoal, e, em especial, à minha CO Orientadora, Professora Patrícia, pelo apoio incondicional e pelas valiosas orientações que foram cruciais na fase final deste trabalho.

Aos amigos de graduação (Vinícius, Filipe, Elmo, Lucas, Misael, Lorena, Leonardo, Pedro, Felipe, Matheus entre outros), pela parceria na troca de conhecimento e pelo companheirismo. Aos colegas de trabalho (Manoel, Nailson e Valtieri), pelo incentivo contínuo.

A minha esposa Maiara Florêncio pelo encorajamento e apoio essenciais nos momentos decisivos para a finalização deste trabalho.

E em especial ao meu irmão Nilson José Silva Gomes, para sempre te amarei."

"O homem não tece a teia da vida; ele é apenas um fio. Tudo o que faz à teia, ele faz a si mesmo."

Fritjof Capra

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – FLUXOGRAMA METODOLÓGICO	18
FIGURA 2 – PERÍMETRO DA ÁREA DE ESTUDO	21
FIGURA 3 – EQUIPAMENTOS UTILIZADOS	22
FIGURA 4 – INTERFACE DO PLANEJAMENTO DE VOO UTILIZANDO O DTM	24
FIGURA 5 – EXECUÇÃO DO VOO	25
FIGURA 6 – ILUSTRAÇÃO DA LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE CHECAGEM	26
FIGURA 7 – RASTREIO DOS PONTOS DE CHECAGEM	27
FIGURA 8 – ILUSTRAÇÃO DOS ORTOMOSAICOS	32
FIGURA 9 – ILUSTRAÇÃO DAS ÁREAS SELECIONADAS PARA COMPARAÇÃO VISUAL.	36
FIGURA 10 – COMPARAÇÃO VISUAL DOS ORTOMOSAICOS. À ESQUERDA, RECORTES GERADOS NO DTM E À DIREITA, RECORTES GERADOS NO METASHAPE.	37
FIGURA 11 – ILUSTRAÇÃO DA PUBLICAÇÃO NA PLATAFORMA (OAM)	40

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – RESULTADOS DOS PROCESSAMENTOS FOTOGRAMÉTRICOS 34

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA DO VOO	23
TABELA 2 - CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO DE ACURÁCIA POSICIONAL (CQDG)	29
TABELA 3 – RESULTADOS GEOPEC - ORTOMOSAICO DTM	33
TABELA 4 – RESULTADOS GEOPEC - ORTOMOSAICO METASHAPE	33

LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS

ANAC	- Agência Nacional de Aviação Civil
ANATEL	- Agência Nacional de Telecomunicações
CE	- Conformité Européenne
CMOS	- Complementary Metal-Oxide Semiconductor
CQDG	- Controle de Qualidade de Dados Geoespaciais
DECEA	- Departamento de Controle do Espaço Aéreo
DJI	- Da-Jiang Innovations Science and Technology Co., Ltd.
DSG	- Diretoria de Serviço Geográfico do Exército Brasileiro
DTM	- Drone Tasking Manager
ET-CQDG	- Especificação Técnica para Controle de Qualidade de Dados Geoespaciais
FCC	- Federal Communications Commission
GNSS	- Global Navigation Satellite System
GPS	- Global Positioning System
GPU	- Graphics Processing Unit
GSD	- Ground Sample Distance
HOT	- Humanitarian OpenStreetMap Team
MDE	- Modelo de Elevação
MDS	- Modelo Digital de Superfície
ODM	- Open Drone Map
OAM	- Open Aerial Map
ODS	- Objetivo de Desenvolvimento Sustentável
PEC-PCD	- Padrão de Exatidão Cartográfica para Produtos Cartográficos Digitais
QGIS	- Quantum Geographic Information System
QZSS	- Quasi-Zenith Satellite System
RAU+E	- Residência em Arquitetura, Urbanismo e Engenharia da UFBA
RMS	- Root Mean Square
RPA	- Remotely Piloted Aircraft (Aeronave Remotamente Pilotada)
RTX	- Real Time Extended (Sistema de correção GNSS da Trimble)
SIG	- Sistema de Informação Geográfica
SISANT	- Sistema de Aeronaves Não Tripuladas
VANT	- Veículo Aéreo Não Tripulado

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	13
2.	MATERIAIS E MÉTODOS	18
2.1	ÁREA DE ESTUDO	20
2.1.1	EQUIPAMENTOS UTILIZADOS	21
2.1.2	PLANEJAMENTO DO VOO	23
2.2	EXECUÇÃO DO VOO EM CAMPO	24
2.2.1	RASTREIO DOS PONTOS DE CHECAGEM	26
2.3	PROCESSAMENTO DOS DADOS	27
2.4	CONTROLE DE QUALIDADE	29
2.5	COMPARAÇÃO DA QUALIDADE DO PROCESSAMENTO	30
2.6	COMPARTILHAMENTO DOS DADOS	31
2.7	UTILIZAÇÃO DE I.A NA ELABORAÇÃO DO PROJETO	31
3.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	31
3.1	CONTROLE DE QUALIDADE (PEC-PCD)	32
3.2	COMPARAÇÃO TÉCNICA DOS ORTOMOSAICOS	34
3.2.1	COMPARAÇÃO VISUAL DOS ORTOMOSAICOS	36
3.3	VANTAGENS E LIMITAÇÕES	38
3.4	PUBLICAÇÃO NA PLATAFORMA OPEN AERIAL MAP	40
4.	CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES FUTURAS	41
	REFERÊNCIAS	43

AEROFOTOGRAMETRIA COLABORATIVA COM AERONAVE REMOTAMENTE PILOTADA DE BAIXO CUSTO E SOFTWARE LIVRE EM COMUNIDADES URBANAS DE SIMÕES FILHO-BA

RESUMO

Este estudo avalia a aerofotogrametria de baixo custo com softwares livres (DTM/ODM) para mapeamento colaborativo em áreas periféricas do município de Simões Filho-BA. Utilizando um RPA DJI Air 3S, o processamento foi comparado entre o Agisoft Metashape (comercial) e a plataforma DTM/ODM (aberta), usando o mesmo conjunto de imagens. O objetivo foi validar a metodologia para iniciativas de base comunitária, focando na disponibilização de dados e acesso democrático à geoinformação. Os resultados indicaram que o DTM/ODM é uma alternativa ágil e viável para gerar ortomosaicos, com precisão posicional relativa à escala de 1:5000 (PEC/PCD), indicada para planejamento e diagnóstico territorial, mesmo sem o uso de pontos de controle terrestres. Os produtos resultantes foram disponibilizados no OpenAerialMap, ampliando o acesso público a dados geoespaciais.

Palavras-chave: Aerofotogrametria; RPA; DTM; ODM; Mapeamento colaborativo.

ABSTRACT

This study evaluates low-cost aerial photogrammetry using open-source software (DTM/ODM) for collaborative mapping in peripheral areas of the municipality of Simões Filho, Bahia, Brazil. Using a DJI Air 3S RPA, image processing was compared between Agisoft Metashape (commercial) and the DTM/ODM platform (open-source), employing the same image dataset. The objective was to validate the methodology for community-based initiatives, focusing on collaborative mapping and democratic access to geoinformation. The results indicated that DTM/ODM is an agile and viable alternative for generating orthomosaics, with positional accuracy consistent with a 1:5000 scale (PEC/PCD), suitable for territorial planning and diagnostic purposes, even without the use of ground control points. The resulting products were made available on OpenAerialMap, expanding public access to geospatial data.

Keywords: Aerial photogrammetry; RPA; DTM; ODM; Collaborative mapping.

1. INTRODUÇÃO

Parte importante do crescimento urbano nas cidades brasileiras tem ocorrido em áreas vulnerabilizadas. Dados do MapBiomas (2022) mostram que 106 mil hectares da expansão urbana entre 1985 e 2021 ocorreram em territórios considerados pelo IBGE como comunidades urbanas ou favelas. Deste total, a cada 100 hectares de favelas, 15 estão localizados em áreas de risco (MapBiomas, 2022).

Paralelamente existe a ausência de mapeamento de referência e a desatualização cartográfica justamente nessas áreas, condição comum em países em desenvolvimento, como o Brasil, revelam a necessidade de dados geoespaciais atualizados e fidedignos para subsidiar o planejamento urbano, demanda também evidenciada à ODS 11 – Cidades e Comunidades Sustentáveis, que estabelece, em sua meta 11.1, o compromisso de garantir acesso universal à habitação segura e adequada e a urbanização de assentamentos precários até 2030 (ONU, 2015).]

A demanda por moradia digna associada à busca por acesso aos serviços e oportunidades concentrados em áreas urbanas afeta principalmente populações de baixa renda (Silva & Oliveira, 2022). Essa dinâmica impõe desafios à gestão municipal, especialmente na formulação de políticas públicas que articulem ordenamento territorial com inclusão social (Rolnik, 2015), além da promoção de processos de regularização fundiária e de atualização de sistemas cadastrais que subsidiem uma gestão territorial eficiente (Nascimento & Lima, 2021).

Paralelo a isso, as demandas por participação popular permanecem, conforme previsto no Estatuto da Cidade (Lei Federal nº 10.257/2001, Art. 2º, II e XIII; Arts. 43 a 45). O Estatuto estabelece a gestão democrática da cidade e a obrigatoriedade de envolver a população na elaboração e revisão de planos diretores, programas urbanos e políticas públicas, por meio de conselhos, debates, audiências, consultas públicas, conferências e iniciativas populares de lei. Nesse contexto, áreas vulnerabilizadas que se expandem à margem do conhecimento e da assistência do setor público apresentam uma demanda especial por processos expeditos de mapeamento, permitindo que as comunidades participem ativamente da produção de informações geoespaciais, subsidiando políticas de planejamento urbano inclusivo e sustentável.

Entretanto, o avanço tecnológico no âmbito das geociências ampliou o acesso a ferramentas para coleta, análise e representação de dados espaciais.

Atualmente, utiliza-se frequentemente nestes processos as Aeronaves Remotamente Pilotadas (*Remotely Piloted Aircraft* – RPA), popularmente conhecidas como drones (Silva *et al.*, 2021).

Segundo Hackney e Calyton (2015), os equipamentos RPA se desenvolveram significativamente nas últimas décadas. Operam remotamente na forma de pequenas plataformas equipadas com câmeras e, para a maioria das aplicações, estão disponíveis como aeronaves de decolagem e pouso vertical com quatro, seis ou mais hélices. Conforme Tziavou, Pytharouli e Souter (2018), estes equipamentos estão equipados com receptores de Sistemas Globais de Navegação por Satélites (*Global Navigation Satellite System* - GNSS) e outros sensores que permitem o posicionamento (por exemplo, sensores de Sistema Inercial, etc.).

A principal aplicação dos RPAs é o mapeamento, a visualização e modelagem tridimensional (3D), contribuindo para aplicações como levantamentos topográficos, monitoramentos de estruturas, análise de desastres, mapeamento arqueológico, agricultura e silvicultura. Estes dados são aplicados para análises aprofundadas em Sistemas de Informação Geográfica (SIG), que já no início dos anos 2000 se configuram como ferramentas fundamentais para entender fenômenos territoriais e apoiar políticas públicas mais eficazes e sustentáveis, como relataram Câmara e Monteiro (2001).

Estes desenvolvimentos tecnológicos contribuíram para a redução de custos operacionais e para a ampliação do acesso a técnicas de mapeamento, permitindo que usuários possam realizar levantamentos com níveis aceitáveis de precisão para diversas aplicações, como mapeamento urbano, agricultura de precisão e monitoramento ambiental (Silva *et al.*, 2021). Contudo, a distinção entre produtos geoespaciais adequados ou insuficientes continua requerendo formação técnica especializada, indispensável para garantir a confiabilidade das informações empregadas em processos de análise e decisão. Exemplos destes processos, são estudos recentes que demonstram o potencial de RPAs como ferramenta de inclusão e mapeamento de comunidades. Gomes e Pedrassoli (2018) realizaram análises na comunidade do Alto das Pombas em Salvador/BA, confeccionando mapas e modelos digitais da região. No estudo de Li *et al.* (2023), integrou-se o mapeamento participativo em comunidades indígenas, produzindo o primeiro conjunto de dados de infraestruturas e recursos para a comunidade indígena no sudoeste da China, permitindo a comunidade o conhecimento de seu território e

riscos de incêndios, estado de preservação de edifícios históricos e potenciais recursos econômicos.

As ações supracitadas, corroboram com Soares *et al.* (2022), que mencionam que RPAs de baixo custo revolucionaram o processo de mapeamento e monitoramento de áreas vulneráveis. A utilização de tecnologias acessíveis nas dinâmicas territoriais impulsiona o mapeamento colaborativo como uma importante ferramenta de inclusão social participativa alinhadas às suas realidades e demandas locais (Quintanilha, 2021). Todavia, é importante destacar que essas abordagens não substituem as metodologias convencionais, mas as complementam, ampliando o escopo e a eficiência das práticas de mapeamento. Nesse contexto, os RPAs configuram-se como ferramentas que potencializam processos tradicionais, como a fotogrametria clássica, principalmente em áreas desatualizadas, territórios comunitários ou regiões historicamente negligenciadas pelos investimentos em cartografia. No entanto, apesar da aquisição dos dados ser uma tarefa relativamente simples, o processamento dos dados para a confecção dos produtos cartográficos é problemática quando se diz respeito às ferramentas computacionais necessárias para esta tarefa. Além disso, o processamento dos dados requer computadores e softwares especializados, muitas vezes associados a licenças de alto custo, o que pode limitar sua utilização em determinados contextos. Somado a isso, a atuação de profissionais qualificados é fundamental, uma vez que a adequada manipulação, processamento e avaliação dos produtos cartográficos depende de conhecimento técnico específico, indispensável para garantir a qualidade e a confiabilidade dos resultados.

Com base neste cenário, o *OpenAerialMap* (OAM) iniciativa lançada originalmente em 2007 e revitalizada em 2015 pelo Humanitarian *OpenStreetMap Team* (HOT) com apoio do *Humanitarian Innovation Fund* tem se destacado como uma plataforma colaborativa que fornece acesso a imagens aéreas de alta resolução, fomentando o mapeamento participativo em diversas regiões. De forma complementar, o *OpenStreetMap* (OSM), utiliza essas imagens como referência para apoiar a extração, correção e refinamento de feições cartográficas. Ao acessar editores como OSM iD ou JOSM, o usuário pode sobrepor as imagens provenientes do OAM ou de provedores de satélite e, a partir delas, identificar, definir e qualificar elementos com maior precisão e confiabilidade, por exemplo, ao visualizar uma edificação ou via em alta resolução no OSM iD, o mapeador consegue traçar seus

limites com maior acurácia e inserir tags de forma mais robusta e coerentes com a realidade observada, aprimorando tanto a geometria quanto a qualidade temática do dado produzido. Estudos indicam que a disponibilização dessas imagens pelo OAM altera os padrões de edição de recursos no OpenStreetMap, promovendo um aumento na frequência e diversidade das edições, melhorias na qualidade dos dados mapeados e maior engajamento colaborativo da comunidade, especialmente em áreas urbanas e de fronteira (Mandourah e Hochmair, 2024).

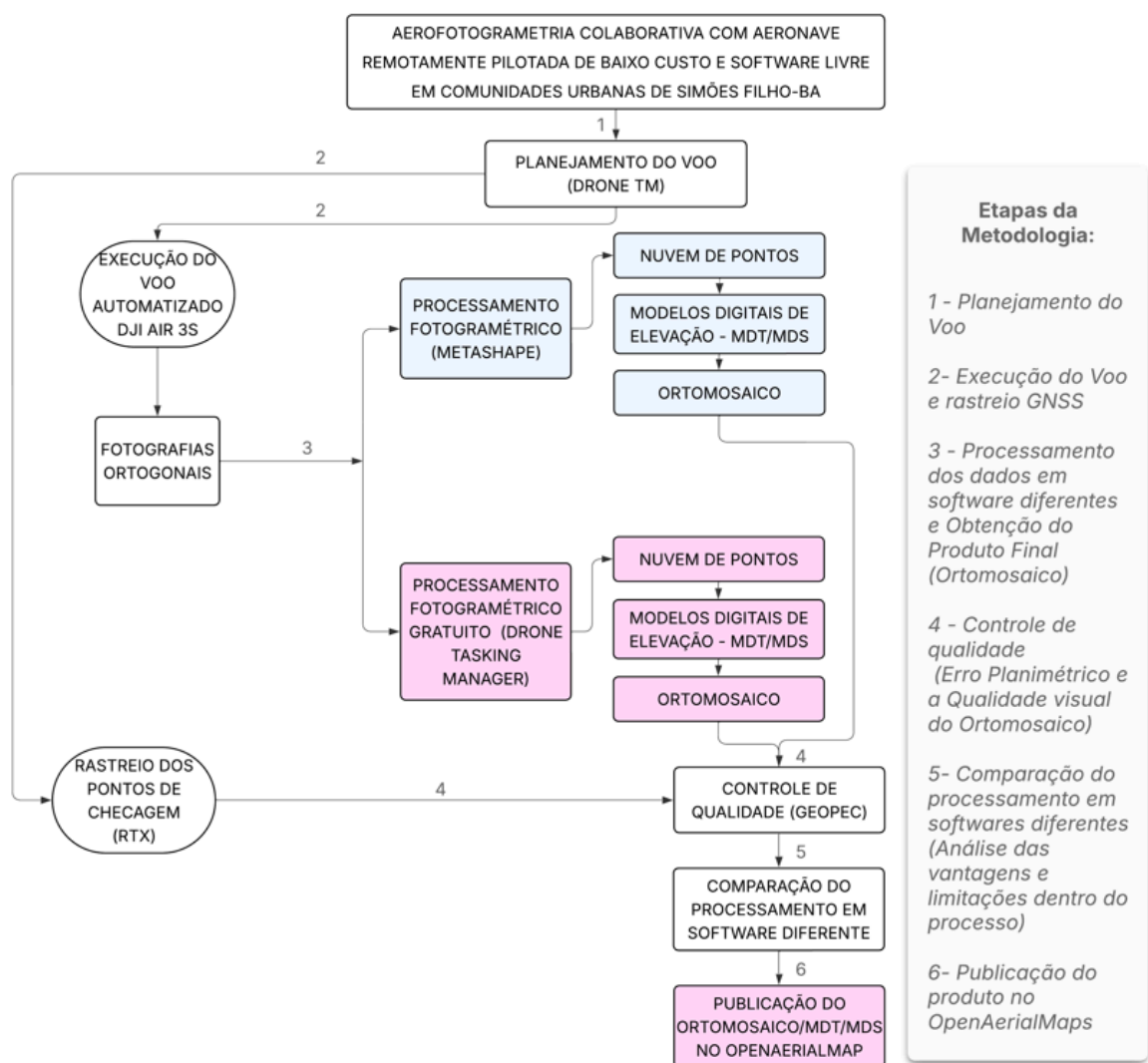
Nesse ecossistema de plataformas abertas, destaca-se também o *Drone Tasking Manager* (DTM), uma ferramenta *open source* desenvolvida pelo Humanitarian OpenStreetMap Team (HOT) em parceria com a NAXA, empresa de tecnologia e inovação do Nepal especializada em soluções de mapeamento digital e geoinformação. O DTM permite planejar e coordenar, de forma colaborativa, missões de voo com drones, onde os usuários definem áreas de interesse, o sistema gera planos de voo divididos em tarefas para vários operadores, evitando sobreposição e garantindo cobertura eficiente. Além disso, a plataforma conta com integração ao OpenDroneMap para o processamento das imagens, possibilitando a importação do ortomosaico para a plataforma OpenAerialMap, promovendo fluxos de trabalho integrados e democráticos para coleta e publicação de dados geoespaciais (Drone Tasking Manager, 2024).

Deste modo, esta pesquisa tem como objetivo geral avaliar a eficácia do uso de RPAs de baixo custo associados a softwares gratuitos de processamento fotogramétrico, tomando como referência o software livre Drone Tasking Manager (DTM), com a finalidade da obtenção de ortomosaico. Nesse contexto, busca-se comparar a qualidade cartográfica, as características técnicas e o aspecto visual dos ortomosaicos gerados pelo software livre DTM em relação aos produzidos pelo Metashape, cuja metodologia é amplamente reconhecida na área. Além disso, a pesquisa pretende analisar as vantagens e limitações do DTM no processamento fotogramétrico e avaliar a viabilidade de replicação da metodologia adotada para outros cenários de mapeamento colaborativo em comunidades em situação de vulnerabilidade.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia foi dividida em seis etapas: 1. Planejamento do voo, 2. execução do voo, 3. Processamento de imagens, 4. Controle de qualidade, 5. Comparação de produtos e síntese de potencialidades e limitações e 6. Publicação de produtos (FIGURA 1).

FIGURA 1 - FLUXOGRAMA METODOLÓGICO



Fonte: O autor (2025).

A primeira etapa consistiu no planejamento do voo com o drone de baixo custo DJI Air 3S, no qual foram definidas a área de estudo, a localização dos pontos de checagem, os equipamentos a serem utilizados e os parâmetros técnicos da

missão necessários para garantir uma cobertura eficiente, como a sobreposição lateral e frontal, velocidade, altura e GSD. É importante destacar que não foram utilizados pontos de controle em solo (GCPs) para georreferenciamento dos produtos; foram adotados apenas pontos de checagem, destinados exclusivamente à avaliação da acurácia posicional.

Em seguida, a segunda etapa envolveu a execução do voo automatizado por meio do aplicativo “DJI Fly” e o levantamento dos pontos de checagem utilizando o receptor GNSS Trimble DA2 e o coletor de dados Trimble TDC6, fundamentais para validar os produtos cartográficos gerados.

Após a coleta dos dados de campo, na terceira etapa foi realizado o processamento das imagens ortogonais em dois ambientes diferentes de processamento fotogramétrico, onde um foi o software Agisoft Metashape que é um software já consolidada e amplamente utilizado, e o outro processamento foi realizado em ambiente web e gratuito, para efeito comparativo da qualidade do produto final gerado (Ortomosaico).

Posteriormente na quarta etapa o produto final gerado foi então analisado e submetido ao controle de qualidade por meio da comparação com os pontos de checagem no software GeoPEC (GEOPEC, 2025). Após, na quinta etapa, foi feita a comparação do produto final elaborado em softwares distintos. Por fim, na sexta etapa, o resultado foi aplicado no contexto do mapeamento colaborativo, promovendo a acessibilidade e promoção do uso aberto dos dados, em que ortomosaicos foram disponibilizados gratuitamente na plataforma OpenAerialMap, permitindo sua utilização no ambiente do OpenStreetMap e ampliando o alcance e utilidade das informações geradas.

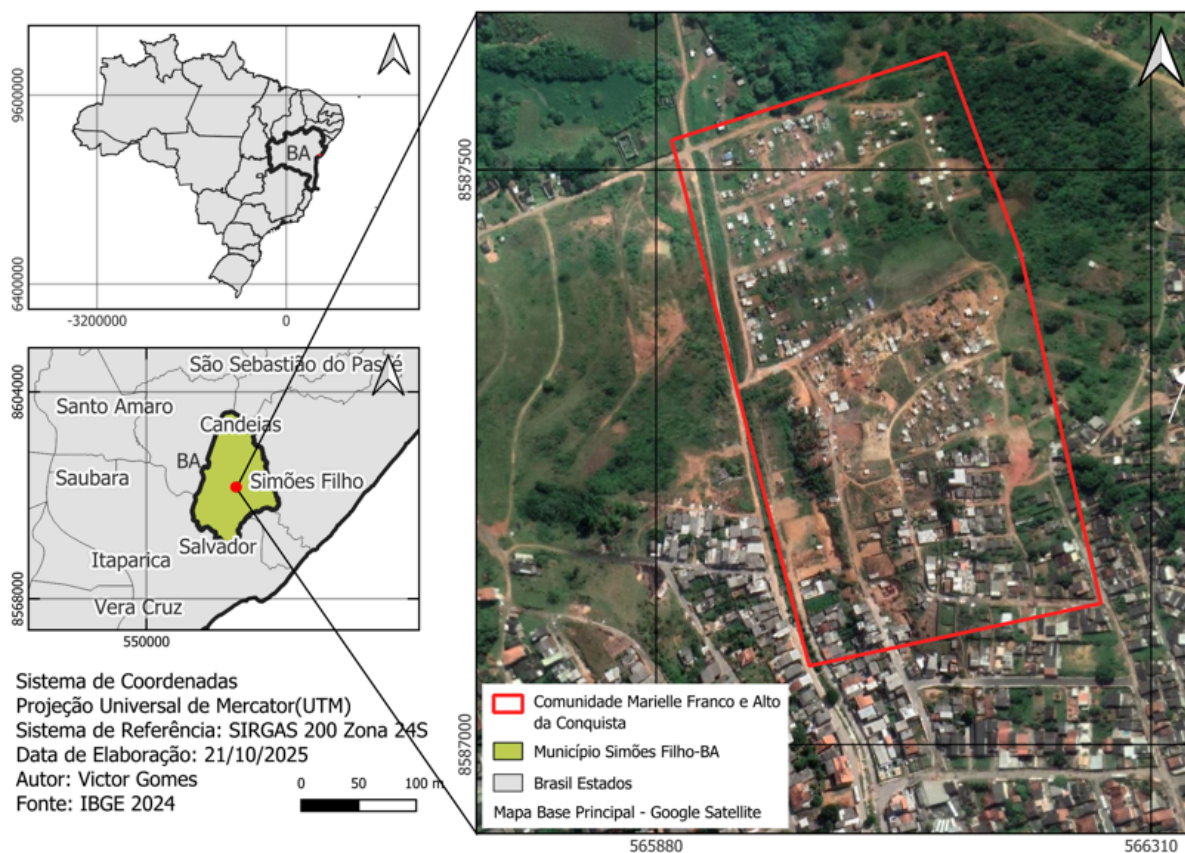
Nesta etapa do trabalho foi realizada uma síntese das avaliações dos potenciais e limitações de utilização do equipamento e plataforma de processamento para aplicações em iniciativas de base comunitária, cujo foco recai sobre a inclusão digital, a autonomia local e a construção participativa de conhecimento territorial, contribuindo para o acesso democrático a informações geoespaciais em comunidades periféricas.

2.1. ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo deste trabalho contempla as comunidades Marielle Franco e Alto da Conquista, no município de Simões Filho, integrante da Região Metropolitana de Salvador-BA (FIGURA 2). A região está inserida no projeto Periferia Viva Residências, uma iniciativa do Ministério das Cidades voltada à urbanização de áreas periféricas, com foco na melhoria da infraestrutura básica, recuperação ambiental, regularização fundiária e fortalecimento do trabalho social (Brasil, 2023).

O município de Simões Filho, situado a cerca de 20 km da capital baiana, destaca-se como um dos principais polos industriais do estado e possui a sétima maior economia da Bahia (Prefeitura Municipal de Simões Filho, 2025). A área analisada possui cerca de 12,7359 hectares e foi selecionada pela equipe do Periferia Viva devido a projetos e parcerias anteriores com a Residência em Arquitetura Urbanismo e Engenharia (RAU+E) da Universidade Federal da Bahia (UFBA), o que favoreceu o desenvolvimento e a continuidade das ações. Vale destacar que a RAU+E trata-se de um curso de especialização em assistência técnica em habitação com ênfase na cidadania. Dessa forma entende-se que os resultados deste trabalho poderão apoiar não apenas a equipe do Periferia Viva atuante em Simões Filho, mas também futuros residentes e assessores técnicos formados nesta ou em outras residências do mesmo perfil existentes no país.

FIGURA 2 - PERÍMETRO DA ÁREA DE ESTUDO



FONTE: O autor (2025).

2.1.1. EQUIPAMENTOS UTILIZADOS

Para o mapeamento foi utilizado o drone de médio porte, RPA DJI Air 3S. Lançado em 2024 pela empresa Shenzhen DJI Sciences and Technologies Ltd., com peso de aproximadamente 724 gramas, tempo de voo máximo de até 45 minutos e alcance de transmissão de vídeo de até 20 km (FCC - Federal Communications Commission) ou 10 km (CE - Conformité Européenne). Considerado um modelo intermediário com bom custo e benefício, com preços variando entre R\$8.000,00 e R\$11.000,00 (DJI, 2025), o DJI Air 3S é equipado com as configurações necessárias para realizar mapeamento de superfície, como evidenciado na FIGURA 3a.

FIGURA 3 - EQUIPAMENTOS UTILIZADOS (a) DJI AIR 3S (b) GNSS TRIMBLE DAD2 E TDDC6



Fonte: (a) DJI (2025) (b) Geospatial World (2021).

A câmera do DJI Air 3S é equipada com dois sensores CMOS: um de 1 polegada (wide), com resolução de 50 MP, e outro de 1/1,3 polegada (tele), com resolução de 48 MP, permitindo capturas em alta resolução com qualidade superior para aplicações de mapeamento. O tamanho máximo da imagem chega a 8192×6144 pixels, e a velocidade do obturador pode atingir até 1/16.000 s, características essenciais para a obtenção de dados precisos durante o mapeamento (DJI, 2025). O modelo utilizado também inclui um sistema global de navegação por satélite compatível com GPS, GLONASS, Galileo e BeiDou (DJI, 2025).

O rastreamento dos pontos de checagem foi realizado a partir do emprego do receptor de sinais GNSS TRIMBLE DA2 e coletor de dados TRIMBLE TDC6 (FIGURA 3b). Compatível com várias constelações de satélites (GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou e QZSS), o DA2 pode atingir precisão centimétrica ao ser usado com planos avançados do Catalyst, que é um serviço de correção GNSS em tempo real por assinatura, baseados em correções da tecnologia Trimble RTX. Essa tecnologia dispensa o uso de bases físicas, o que facilita o uso em locais remotos ou com difícil acesso à infraestrutura (Trimble, 2025).

2.1.2. PLANEJAMENTO DO VOO

Neste estudo, o planejamento foi realizado por meio da plataforma gratuita Drone Tasking Manager (DTM), acessada em ambiente web, sendo feito um único plano de voo para execução e processamento em softwares diferentes. Essa ferramenta permitiu a criação de rotas baseadas em *waylines*, essencial para o equipamento utilizado, que não dispõe de software nativo voltado ao mapeamento aéreo. Segundo seus desenvolvedores, o DTM foi projetado para facilitar a divisão e o gerenciamento colaborativo de áreas a serem mapeadas, com base em parâmetros configuráveis pelo usuário (Drone Tasking Manager, 2024).

Inicialmente, foi importada a delimitação da área de estudo. Em seguida, definiram-se variáveis essenciais para a missão (TABELA 1), como a sobreposição entre imagens, altura de voo, velocidade da aeronave, ângulo da câmera e orientação das linhas de voo, assegurando a qualidade dos dados fotogramétricos obtidos. Todo processo está descrito detalhadamente no [link](#).

O DTM apresenta duas modalidades de plano de voo: Waypoints e Waylines. A primeira, Waypoints, baseia-se em uma sequência de pontos georreferenciados definidos manualmente, nos quais a aeronave executa ações específicas, como disparo da câmera, variação de altitude ou mudança de direção, oferecendo um maior controle sobre o trajeto. Já a modalidade Waylines estabelece trajetórias lineares contínuas, em que o drone percorre automaticamente linhas paralelas pré-planejadas, mantendo parâmetros constantes de altitude, velocidade e sobreposição. Embora também utilize waypoints, neste caso eles são reduzidos e servem apenas como nós de referência para estruturar o percurso, otimizando o tempo de voo e garantindo uma cobertura fotogramétrica uniforme.

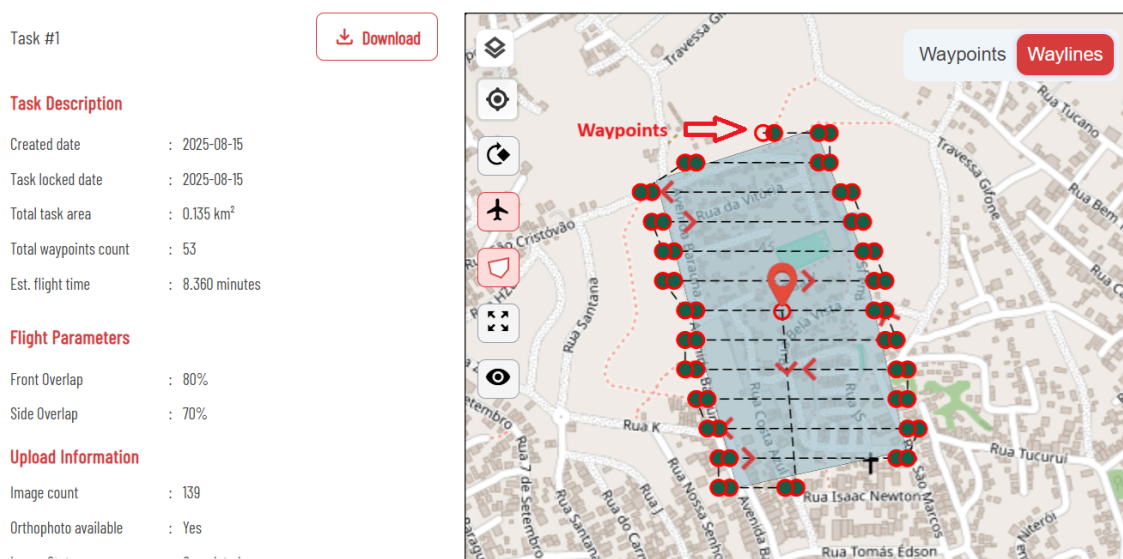
TABELA 1 – ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA DO VOO

Tipo	Valor
Sobreposição Lateral	70%
Sobreposição Frontal	80%
Velocidade do Voo	8 m/s
GSD	2.3 cm
Altura de Voo	120 m

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

O uso de plataformas online baseadas em waypoints e waylines no planejamento de missões com RPA já é consolidado na literatura técnica, sendo amplamente reconhecido por sua eficácia na organização de rotas automatizadas e na otimização da coleta de dados (Simões et al., 2022). A interface da ferramenta pode ser observada na FIGURA 4.

FIGURA 4 - INTERFACE DO PLANEJAMENTO DE VOO UTILIZANDO O DTM.



Fonte: O autor (2025).

Além do planejamento técnico da missão, o uso do RPA DJI Air 3S, por ser um equipamento de médio porte, exige o cumprimento das normas vigentes no Brasil. Isso inclui o registro da aeronave no sistema SISANT da ANAC (ANAC, 2023), a homologação do equipamento pela ANATEL (ANATEL, 2023) e, especialmente em áreas urbanas, a solicitação de autorização de voo junto ao DECEA, por meio da plataforma SARPAS NG (DECEA, 2024). Essas exigências visam garantir a legalidade da operação, conforme previsto na legislação brasileira.

2.2. EXECUÇÃO DO VOO EM CAMPO

Para a execução do voo, foi utilizado o drone de baixo custo DJI AIR 3S, com planejamento e controle automatizado realizados por meio do aplicativo gratuito

DJI FLY. Além disso, foram coletados pontos de checagem GNSS com receptores de alta precisão, utilizados apenas para o procedimento de controle de qualidade (GeoPEC).

Essas etapas foram fundamentais para quantificar e avaliar o nível de acurácia realmente alcançado pelas ortofotos geradas. Os trabalhos de campo foram realizados nos dias 14 de maio e 02 de agosto de 2025, conforme ilustrado na FIGURA 5.

FIGURA 5 - EXECUÇÃO DO VOO

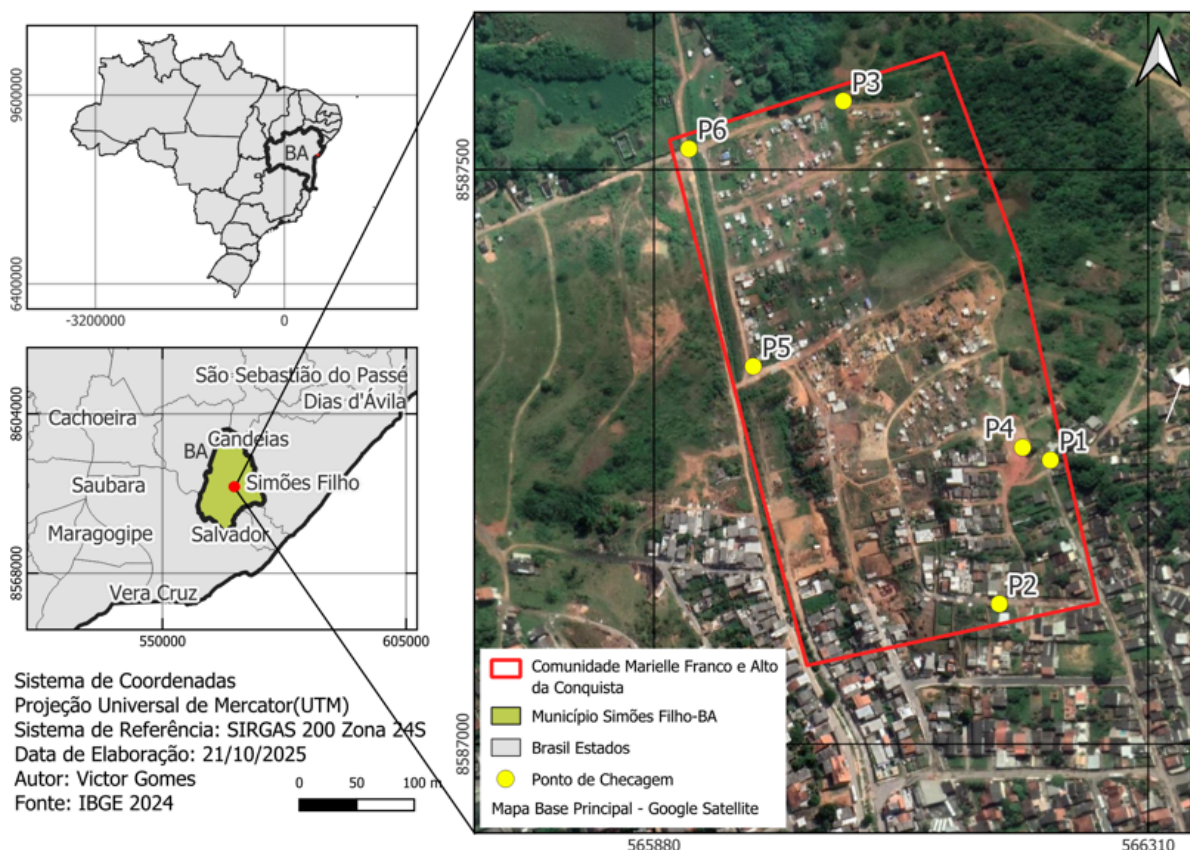


Fonte: O autor (2025).

2.2.1. RASTREIO DOS PONTOS DE CHECAGEM

O processo de validação da acurácia posicional dos produtos cartográficos foi realizado através do rastreo dos pontos de checagem que foram distribuídos de forma uniforme, no total de 6 pontos, como ilustrado na FIGURA 6.

FIGURA 6 - ILUSTRAÇÃO DA LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE CHECAGEM



Fonte: O autor (2025).

Foi utilizado o receptor GNSS Trimble DA2, em conjunto com o coletor de dados Trimble TDC6. A coleta foi realizada com suporte ao serviço de correção em tempo real Trimble RTX, o qual viabiliza medições com precisão centimétrica sem a necessidade de infraestrutura local, como estações base.

Sendo assim, a adoção do Trimble RTX (FIGURA 7) mostrou-se compatível com as necessidades do levantamento realizado na comunidade Marielle Franco, permitindo maior autonomia e eficiência durante o trabalho de campo. Segundo Trimble (2025), essa tecnologia utiliza correções orbitais e de relógio por meio de

satélites geossíncronos, garantindo acurácia de nível centimétrico em tempo real com alta confiabilidade.

FIGURA 7 - RASTREIO DOS PONTOS DE CHECAGEM



Fonte: O autor (2025).

2.3. PROCESSAMENTO DOS DADOS

Inicialmente, os dados foram processados no software Metashape, amplamente utilizado na fotogrametria digital. Para fins de comparação, foram realizados três processamentos distintos, utilizando as configurações de qualidade Baixa, Média e Alta, como descritos abaixo:

1) Qualidade Baixa:

- Usa menos pontos na correspondência entre imagens.
- Processamento rápido e com menos consumo de RAM/CPU.
- Gera um modelo com menor detalhamento e mais ruído.
- Utilizada só para testes ou projetos que não exigem precisão.

2) Qualidade Média:

- Equilíbrio entre tempo e precisão.

- Gera modelos com detalhamento adequado para projetos acadêmicos, mapeamento de áreas médias, análises geométricas sem alta exigência.
- É o padrão mais usado em estudos comparativos justamente por ser custo-benefício ideal.

3) Qualidade Alta:

- Usa todas as informações disponíveis nas imagens.
- Exige muito processamento (RAM e tempo).
- Produz modelos densos, detalhados e com maior precisão geométrica.
- Recomendado para engenharia, arqueologia, topografia detalhada.

Em seguida, foi adotado o Drone Tasking Manager (DTM), plataforma web, gratuita e colaborativa que integra o planejamento das missões com o processamento das imagens obtidas por VANTs. Essa ferramenta utiliza o OpenDroneMap (ODM) com objetivo da reconstrução fotogramétrica, oferecendo uma interface web automatizada que permite o envio das imagens e executa todo o fluxo de processamento em nuvem, dispensando configurações manuais.

De acordo com Hartwig *et al.* (2023), o processamento com o ODM segue um fluxo estruturado e padronizado, onde as imagens são inicialmente alinhadas utilizando algoritmos de correspondência automática, em seguida, é gerada a nuvem de pontos esparsa e, posteriormente, a nuvem de pontos densa, a partir da qual são derivados produtos como o Modelo Digital de Superfície (MDS), o ortofotomosaico e o modelo 3D texturizado. O processamento no DTM/ODM é realizado com parâmetros padrão, sem ajustes finos ou modificações manuais.

Essa abordagem integrada e simplificada evita a necessidade de conhecimentos avançados de fotogrametria, mantendo a uniformidade e qualidade técnica dos produtos gerados. A capacidade do OpenDroneMap em lidar com imagens de VANTs e produzir resultados confiáveis foi comprovada por Hartwig *et al.* (2023), que destacaram a geração bem-sucedida de ortofotomosaicos, nuvens de pontos e MDS com alto nível de detalhamento, mesmo em uma área complexa e acidentada. Além disso, os autores ressaltam a vantagem do ODM em termos de acessibilidade, eficiência e adequação para projetos participativos ou acadêmicos com recursos limitados.

2.4. CONTROLE DE QUALIDADE

A acurácia posicional dos produtos cartográficos foi avaliada por meio da comparação entre coordenadas extraídas dos ortomosaicos gerados nos softwares DTM e Metashape e pontos de checagem coletados em campo, utilizando o software gratuito GeoPEC (GEOPEC, 2025). Esse procedimento foi aplicado de forma idêntica aos dois ortomosaicos obtidos, tanto ao produzido no Metashape quanto ao gerado no DTM/ODM, permitindo comparar diretamente o desempenho dos softwares na reprodução da posição real dos alvos medidos.

O software GeoPEC adota a normativa da Diretoria de Serviço Geográfico do Exército Brasileiro, que estabelece a Especificação Técnica para Controle de Qualidade de Dados Geoespaciais (CQDG) como referência para a avaliação da precisão posicional (Diretoria de Serviço Geográfico do Exército Brasileiro, 2016). Essa norma substitui o antigo Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC), definido pelo Decreto Federal nº 89.817/1984, representando uma atualização dos critérios oficiais de acurácia adotados no Brasil. Com base nesse procedimento, é possível quantificar os erros posicionais e classificar os produtos cartográficos quanto à sua adequação ao uso pretendido (Santos et al., 2016).

Para apoiar a interpretação dos resultados e contextualizar os limites aceitos para cada categoria de precisão, a Tabela 2 apresenta os critérios definidos pela CQDG para o enquadramento dos produtos cartográficos em classes de acurácia, considerando o Erro Padrão (EP), o Erro Médio Quadrático (EMQ/RMSE) e o limite correspondente a 90% dos pontos avaliados (PP90%).

TABELA 2 – CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO DE ACURÁCIA POSICIONAL (CQDG)

Classe	Erro Padrão (EP) máximo permitido	RMSE (EMQ)	PP90%	Escalas
A	0,5 mm x escala	1,4 x EP	2,4 x EP	1:1.000 a 1:5.000
B	0,8 mm x escala	1,4 x EP	2,4 x EP	1:5.000 a 1:10.000
C	1,0 mm x escala	1,4 x EP	2,4 x EP	1:10.000 a 1:25.000
D	1,6mm x escala	1,4 x EP	2,4 x EP	1:25.000 a 1:100.000

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

O valor do EP deve ser convertido para metros, multiplicando-se o limite em milímetros pelo denominador da escala.

Esses critérios permitem verificar se o produto avaliado atende aos níveis exigidos para determinada escala ou aplicação. Em especial, o parâmetro PP90% estabelece que 90% das discrepâncias entre os pontos medidos em campo e suas posições no produto devem estar dentro do limite estipulado para a classe.

2.5. COMPARAÇÃO DA QUALIDADE DO PROCESSAMENTO

Nesta etapa, após a obtenção dos resultados e a realização do controle de qualidade descrito anteriormente, foi realizada uma análise comparativa dos produtos finais gerados em dois ambientes distintos: o software pago Agisoft Metashape e o software gratuito OpenDroneMap (ODM), acessado por meio do ODM.

Na etapa de comparação técnica, os critérios de comparação considerados abrangem os aspectos encontrados nos relatórios finais de processamento em cada software, como: área coberta, resolução do ortomosaico (GSD), tempo de processamento, quantidade de pontos reconstruídos na nuvem densa, erro médio de reprojeção, precisão GPS Root Mean Square(RMS), interface, requisitos computacionais e qualidade visual dos resultados.

A avaliação da qualidade visual dos ortomosaicos foi realizada a partir da construção de uma grade amostral regular sobre a área de estudo, utilizando a ferramenta “Create Grid”, disponível no software QGIS 3.X. A grade foi configurada com células quadradas de 70 x 70 metros. Em seguida, aplicou-se a ferramenta “Random Selection”, do plugin MMQGIS (STEELE, 2020), para selecionar aleatoriamente três células da grade. Essas células foram utilizadas como base para a comparação visual entre os ortomosaicos gerados nos dois ambientes de processamento: Drone Tasking Manager (DTM) e Metashape. A comparação foi realizada em escala fixa de 1:200, com o objetivo de evidenciar possíveis diferenças na nitidez, distorções e na representação de elementos urbanos e naturais.

Por fim, foi realizada a análise das vantagens e limitações de cada software diante o processo, buscando verificar a potencialidade do uso da plataforma DTM.

2.6. COMPARTILHAMENTO DOS DADOS

Para promover o acesso aberto aos dados gerados, os produtos cartográficos foram disponibilizados na plataforma OpenAerialMap. Esta plataforma permite o compartilhamento e a visualização de imagens aéreas de forma colaborativa, facilitando o uso dos dados por diferentes usuários e aplicações. A utilização dessa ferramenta tem mostrado impacto significativo nas práticas de edição e atualização de dados em projetos como o OpenStreetMap, contribuindo para a democratização do acesso à informação geoespacial e fortalecendo iniciativas de mapeamento comunitário (Mandourah e Hochmair, 2024).

2.7. UTILIZAÇÃO DE IA NA ELABORAÇÃO DO PROJETO

Durante a elaboração deste trabalho, foi utilizado o ChatGPT, modelo de Inteligência Artificial da geração GPT-4 desenvolvido pela OpenAI, como ferramenta de apoio na redação do texto. Seu uso restringiu-se à reorganização de trechos, sugestões de estruturação e aprimoramento da clareza linguística, sem interferir nas decisões metodológicas e analíticas do autor. Foi observado o uso ético e responsável da inteligência artificial generativa conforme Peixoto *et al.* (2025).

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nas próximas subseções, serão apresentados os principais resultados do experimento. A subseção 3.1 aborda o controle de qualidade através da validação do Padrão de Exatidão Cartográfica para Produtos Cartográficos Digitais (PEC-PCD). Na Seção 3.2, traz uma análise comparativa dos ortomosaicos gerados nos dois ambientes de processamento fotogramétrico (FIGURA 8), com base em critérios técnicos. Na Seção 3.2.1 traz a comparação visual dos ortomosaicos gerados. Na Seção 3.3, discutem-se as vantagens e limitações da ferramenta gratuita (DTM) e por fim a Seção 3.4 aborda a publicação no OAM.

FIGURA 8 - ILUSTRAÇÃO DOS ORTOMOSAICOS (a) DTM (b) METASHAPE



Fonte: O autor (2025).

3.1. CONTROLE DE QUALIDADE (PEC-PCD)

A avaliação da acurácia posicional do produto "A" foi conduzida no software GeoPEC, com base em 6 pontos de checagem e adotando a metodologia de Santos et al. (2016). O processo seguiu as tolerâncias do Decreto n. 89.817/1984 (PEC-PCD da ET-CQDG) para a escala de 1:5000.

Foi executado o teste de acurácia posicional, onde o Erro Médio Quadrático (RMS) total, obtido a partir das discrepâncias absolutas, foi de 2,3958 m. Este valor atende ao Erro Padrão (EP) de 2,5 m estipulado para a Classe C da escala 1:5000, classificando o produto como "ACURADO" dentro deste padrão. Os resultados detalhados das discrepâncias por ponto de checagem são apresentados abaixo (TABELA 3)

TABELA 3 – RESULTADOS GEOPEC - ORTOMOSAICO DTM

Ponto	Discrepância E(m)	Discrepância N(m)	Erro Posicional 2D (m)	Azimute (°)
P1	2,751	-1,503	3,1348	118,6498
P2	2,083	-2,850	3,5301	143,8378
P3	1,097	1,955	2,2417	29,2979
P4	1,561	0,319	1,5933	78,4503
P5	-0,513	--0,468	0,6944	227,6264
P6	-1,156	1,664	2,0261	325,2118
RMS	1,6905	1,6977	2,3958	

Fonte: O autor (2025).

Posteriormente, foi realizado o teste de acurácia posicional do ortomosaico gerado no Metashape (configuração média), utilizando os mesmos seis pontos de checagem. O Erro Médio Quadrático (RMS) total, calculado a partir das discrepâncias absolutas, foi de 1,2255 m. Esse valor atende ao Erro Padrão (EP) de 1,5 m estipulado para a Classe B na escala 1:5000, classificando o produto como "Acurado" dentro desse padrão. Os resultados detalhados das discrepâncias por ponto de checagem são apresentados abaixo (TABELA 4).

TABELA 4 – RESULTADOS GEOPEC - ORTOMOSAICO METASHAPE

Ponto	Discrepância E(m)	Discrepância N(m)	Erro Posicional 2D	Azimute (°)
P1	1,133	-0,670	1,3163	120,598
P2	0,996	-0,675	1,2032	124,1259
P3	1,229	-0,535	1,3404	113,5241
P4	0,074	1,045	1,0476	4,0505
P5	1,003	-0,647	1,1936	122,8246

P6	1,068	-0,609	1,2294	119,6929
RMS	0,9948	0,7156	1,2255	

Fonte: O autor (2025).

A análise comparativa dos produtos gerados demonstrou que o ortomosaico processado no Metashape apresentou um Erro Médio Quadrático (RMS) de 1,2255 m, desempenho superior ao obtido pelo DTM, cujo RMS foi de 2,3958 m. Esses valores enquadram-se, respectivamente, na Classe B ($EP \leq 1,5$ m) e na Classe C ($EP \leq 2,5$ m) da escala 1:5000, conforme os critérios estabelecidos pelo PEC-PCD.

Diante desses resultados, conclui-se que:

- O ortomosaico gerado no DTM foi classificado como ACURADO na Classe C, atendendo aos limites estatísticos estabelecidos para essa categoria de precisão, ainda que com desempenho inferior ao do Metashape.
- O ortomosaico gerado no Metashape foi classificado como ACURADO na Classe B, apresentando o melhor resultado entre os produtos avaliados e maior precisão posicional.

Assim, ambos os produtos foram considerados acurados segundo suas classes de referência, com o Metashape demonstrando superioridade em termos de precisão absoluta.

3.2. COMPARAÇÃO TÉCNICA DOS ORTOMOSAICOS

Os principais resultados obtidos nos dois ambientes de processamento estão organizados na QUADRO 1, permitindo uma comparação direta entre os desempenhos do Metashape e do Drone Tasking Manager nas etapas de geração dos produtos cartográficos.

QUADRO 1 - RESULTADOS DOS PROCESSAMENTOS FOTOGRAMÉTRICOS

Critério	DTM	Metashape (Baixo)	Metashape (Médio)	Metashape (Alto)
Área coberta	0,2125 km ²	0,267 km ²	0,271 km ²	0,267 km ²
Resolução do ortomosaico (GSD)	2,3 cm/pixel	2,16 cm/pixel	2,18 cm/pixel	2,18 cm/pixel
Tempo total de processamento	1h 02m 50s	17m 38s	1h 45m 29s	3h 03m 38s

Pontos reconstruídos (densa)	15.876.047	12.227.165	52.189.861	212.632.898
Erro médio de reprojeção	1,66 pixel	2,78 px	1,72 px	1,27 px
Precisão GPS (RMS)	1.25 m total (X: 54,4cm / Y: 51,8cm / Z: 1.12m)	80,13 cm total (X: 30,07 cm / Y: 23,99 cm / Z: 70,29 cm)	54,92 cm total (X: 32,66 cm / Y: 27,24 cm / Z: 34,74 cm)	78,42 cm total (X: 35,54 cm / Y: 28,35 cm / Z: 63,89 cm)
Interface	Web, amigável e acessível	Maior controle técnico	Maior controle técnico	Maior controle técnico
Requisitos computacionais	Executado via web/nuvem, sem necessidade local	Software local, 7,7 GB RAM, CPU i5, GPU integrada	Software local, 7,7 GB RAM, CPU i5, GPU integrada	Software local, 7,7 GB RAM, CPU i5, GPU integrada

Fonte: O autor (2025).

O processamento de dados fotogramétricos do DTM, ao ser comparado com o Metashape, demonstrou resultados de desempenho técnico que o posicionam em um patamar de qualidade similar ao Metashape em sua configuração de qualidade média. Essa análise é baseada nos dados apresentados na QUADRO 1, que evidenciam a capacidade do DTM de gerar produtos de alta qualidade.

Um dos indicadores primários é o número de pontos reconstruídos. O DTM gerou 15.876.047 pontos, um valor consideravelmente superior ao da configuração de baixa qualidade do Metashape. Embora seja menor que o número de pontos gerados pela configuração média do Metashape (52.189.861), a quantidade de pontos obtida pelo DTM é representativa de um processamento robusto, que captura com precisão as características do ambiente.

Outro ponto que reforça essa equivalência é a resolução espacial do ortomosaico. O DTM alcançou uma resolução de 2,3 cm/pixel, um valor muito próximo do obtido pelo Metashape nas configurações de qualidade média e alta (2,18 cm/pixel). Essa proximidade na resolução sugere que o DTM é capaz de produzir imagens com um alto nível de detalhe.

Adicionalmente, a consistência geométrica do modelo gerado pelo DTM é superior à do Metashape (Médio), como indicado pelo erro médio de reprojeção. O DTM obteve um erro de 1,66 px, valor menor que o 1,72 px do Metashape (Médio). O tempo de processamento do DTM é outro fator que o destaca. Com um tempo de 1h 02min 50s, o DTM demonstrou ser altamente eficiente.

Portanto, os resultados demonstram que o DTM oferece uma solução de processamento de dados fotogramétricos que equilibra qualidade técnica,

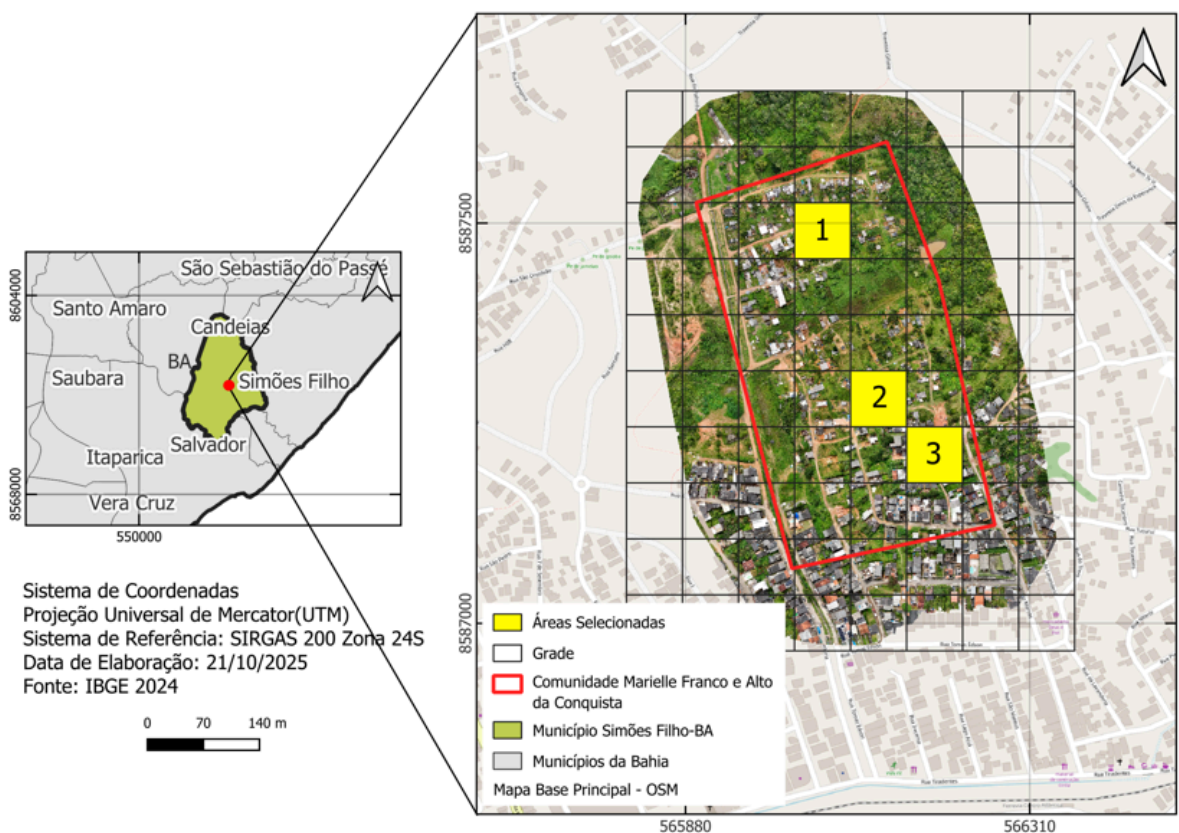
acessibilidade e simplicidade operacional. Seus produtos, em termos de qualidade e precisão, são comparáveis aos obtidos com o Metashape em sua configuração média, superando-o em termos de eficiência de processamento e acessibilidade de hardware.

3.2.1.COMPARAÇÃO VISUAL DOS ORTOMOSAICOS

Para viabilizar a análise visual comparativa entre os ortomosaicos gerados, foram selecionadas três áreas da imagem original com base em uma grade amostral construída previamente no QGIS. Foram escolhidas três células aleatoriamente e recortadas dos ortomosaicos produzidos tanto no Drone Tasking Manager (DTM) quanto no Metashape no modo médio do processamento e em escala fixa de 1:200.

A FIGURA 9 apresenta a localização dessas áreas sobre a ortofoto da região de estudo.

FIGURA 9 - ILUSTRAÇÃO DAS ÁREAS SELECIONADAS PARA COMPARAÇÃO VISUAL.



FONTE: O autor (2025).

A seguir, são apresentados os recortes correspondentes às três células selecionadas (FIGURA 10). Para cada área, o recorte do DTM está disposto à esquerda e o correspondente do Metashape à direita.

FIGURA 10 – COMPARAÇÃO VISUAL DOS ORTOMOSAICOS. À ESQUERDA, RECORTES GERADOS NO DTM E À DIREITA, RECORTES GERADOS NO METASHAPE.

(1) - DTM



(1) - METASHAPE



(2) - DTM



(2) - METASHAPE



(3) - DTM



(3) - METASHAPE





Fonte: O autor (2025).

A análise qualitativa dos ortomosaicos (FIGURA 11) demonstrou alta similaridade visual entre os produtos da plataforma web (DTM) e os do software proprietário. Identificaram-se apenas artefatos visuais pontuais no produto do DTM. Na comparação (1) houve uma leve distorção em um muro, na comparação (2) foi observado uma leve distorção no limite de um imóvel e na comparação (3) foi observada a distorção em dois muros que representam o limite dos lotes.

Tais resultados indicam que os produtos do DTM, apesar das distorções pontuais, mantêm a capacidade de representar fidedignamente os principais elementos da paisagem. Valida-se, assim, sua aplicação em iniciativas de mapeamento colaborativo e participativo, especialmente em contextos de acesso limitado a softwares proprietários.

3.3. VANTAGENS E LIMITAÇÕES

O DTM apresenta como principal vantagem a execução totalmente em ambiente web, eliminando a necessidade de computadores de alto desempenho ou aquisição de licenças proprietárias. Essa característica garante ampla acessibilidade, permitindo que usuários com infraestrutura limitada realizem tanto o planejamento de voo quanto o processamento fotogramétrico em uma interface simples e gratuita.

O tempo de processamento também se destacou com valor competitivo mesmo quando comparado ao Metashape em configurações locais. Aliado à baixa demanda por recursos computacionais, o DTM se mostra altamente eficiente em cenários que demandam agilidade e simplicidade operacional.

Do ponto de vista técnico, o DTM alcançou resolução espacial de 2,3 cm/pixel, valor próximo ao obtido pelo Metashape em qualidade média e alta (2,18 cm/pixel). Além disso, apresentou erro médio de reprojeção de 1,66 px, inferior ao do Metashape em configuração média (1,72 px), o que evidencia consistência geométrica satisfatória dos modelos gerados.

Durante a execução dos voos, outro ponto positivo foi o desempenho do modo Waylines, que garantiu maior estabilidade e segurança. Esse recurso, ao adotar trajetórias contínuas e reduzir a sobrecarga de dados no rádio controle, mostrou-se mais confiável para missões longas.

Durante a etapa de voo, observou-se que o modo Waylines garantiu maior estabilidade e segurança na execução das missões, ao adotar trajetórias contínuas e reduzir a sobrecarga de dados no rádio controle. Esse recurso se mostrou mais confiável que o modo Waypoints, no qual foram registrados travamentos em missões de maior extensão.

Apesar de seus avanços, o DTM apresenta restrições importantes. A principal delas refere-se à precisão posicional obtida via GNSS descrita no relatório de processamento fotogramétrico, com RMS total de 1,25 m, superior ao observado no Metashape em qualidade média (54,92 cm). Esse resultado está diretamente relacionado à ausência de pontos de controle no processamento, o que compromete a acurácia absoluta do georreferenciamento para trabalhos cartográficos oficiais. Dessa forma, o uso do DTM permanece inviável em aplicações que exigem certificação normativa, como georreferenciamento oficial de imóveis, cadastros técnicos multifinalitários ou obras públicas regidas pela ET-CQDG (considerando a ausência de pontos de controle).

Outro aspecto limitante é o controle técnico reduzido sobre as etapas de processamento, se comparado a softwares comerciais mais robustos. Além disso, os ortomosaicos gerados apresentaram leve perda de nitidez quando comparados aos resultados do Metashape. Embora esses efeitos não inviabilizem a interpretação dos elementos da paisagem, eles impactam a precisão visual em análises mais detalhadas.

No âmbito da execução de voo, observou-se que o modo Waypoints apresentou instabilidade em missões mais extensas, provocando travamentos no rádio controle e comprometendo a integridade da operação. Esse comportamento

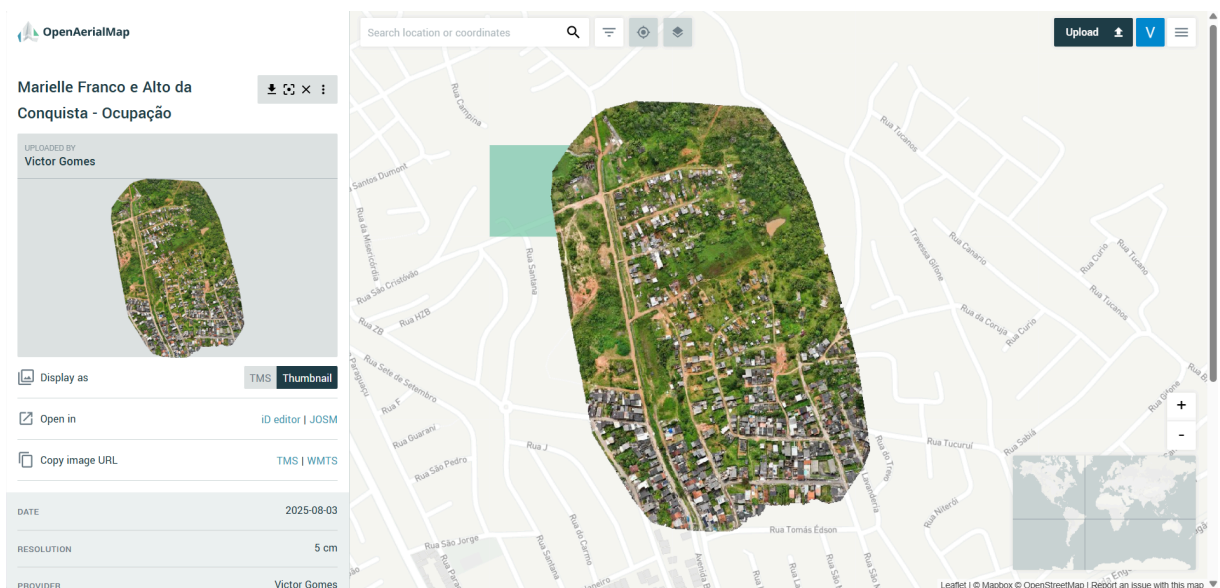
limita o uso desse recurso em levantamentos maiores, reforçando a necessidade de optar preferencialmente pelo modo Waylines.

3.4. PUBLICAÇÃO NA PLATAFORMA OPEN AERIAL MAP

A etapa final do fluxo metodológico consistiu na disponibilização dos produtos cartográficos na plataforma OpenAerialMap (OAM), visando promover o acesso aberto aos dados gerados e fomentar o mapeamento colaborativo em comunidades. Esta ação é crucial para alinhar a pesquisa aos princípios de democratização da informação geoespacial e fortalecer as iniciativas de base comunitária, especialmente em contextos de vulnerabilidade.

O processo de publicação no OpenAerialMap envolveu o carregamento do ortomosaico gerado, seguido da associação de metadados essenciais para sua identificação e usabilidade, como a localização, data de aquisição e informações sobre o projeto. Uma vez processado pela plataforma, o ortomosaico foi integrado ao acervo de imagens aéreas de alta resolução acessíveis publicamente, conforme demonstrado (FIGURA 11). A disponibilização dos dados neste ambiente colaborativo representa um passo fundamental para que as informações geradas por esta metodologia sejam empregadas em diversas análises espaciais e projetos sociais, ampliando o alcance e a utilidade prática dos resultados.

FIGURA 11 - ILUSTRAÇÃO DA PUBLICAÇÃO NA PLATAFORMA (OAM)



Fonte: O autor (2025).

4. CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES FUTURAS

Os resultados confirmam que a metodologia proposta é viável e eficiente, especialmente quando se busca aliar acessibilidade, agilidade e qualidade em contextos urbanos periféricos. O produto cartográfico gerado, ao ser classificado como Classe C na escala 1:5.000, valida a precisão e usabilidade dos dados produzidos pelo DTM. Essa classificação atesta que, mesmo com recursos limitados, é possível gerar mapas que atendem aos padrões de acurácia de média precisão, reforçando o potencial da metodologia para mapeamento colaborativo e ações territoriais de base comunitária.

Apesar das vantagens, é evidente que o Metashape oferece um nível superior de controle técnico e qualidade visual. No entanto, sua dependência de máquinas mais potentes e licenças pagas dificulta a adoção em realidades com restrições orçamentárias que são justamente os cenários onde o mapeamento é mais necessário. Nesse sentido, o ODM se destaca como uma solução equilibrada, que democratiza o acesso à cartografia e fortalece práticas de autonomia territorial e inclusão digital.

A precisão alcançada neste estudo (Classe C, 1:5.000) possibilita a construção de uma base cartográfica funcional, com utilidade prática para diversas demandas sociais no contexto urbano. O DTM mostra-se útil para aplicações de média precisão, como o planejamento de infraestrutura em bairros, a identificação de áreas de risco para o monitoramento de enchentes, inclusão digital, diagnósticos territoriais, mapeamento rápido e eficiente de áreas afetadas por desastres naturais e a implementação de políticas públicas.

Com o objetivo de aprimorar a metodologia e ampliar os resultados desta pesquisa, destacam-se os seguintes caminhos para estudos futuros:

- Avaliação de voos em altitudes variadas: Recomenda-se a realização de testes com voos em altitudes mais baixas (50 m ou 70 m) para verificar se uma maior resolução espacial pode reduzir o erro posicional, elevando a classificação de precisão do produto cartográfico.
- A utilização do voo cruzado: Como forma de densificação dos pontos no processo de geração de nuvem de pontos, para verificação do aprimoramento posicional e nitidez do ortomosaico.

- Para contexto cartográfico oficial: Recomenda-se que estudos futuros avaliem o ganho de acurácia obtido com o uso de pontos de controle em solo (GCPs), especialmente no contexto de integração entre diferentes fontes de dados geoespaciais. A incorporação de GCPs pode melhorar a consistência posicional entre produtos derivados de distintos métodos de processamento, verificando se a metodologia consegue atingir classes mais restritivas (como A ou B) e escalas maiores (1:1.000 ou 1:2.000) e contribuindo para uma harmonização mais robusta entre bases cartográficas e ampliando a confiabilidade na fusão e comparação de informações espaciais.

REFERÊNCIAS

ALVES, J. D. G. *Possibilidades e desafios no uso de drone para mapeamento de comunidades tradicionais na Amazônia*. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 16, n. 5, p. 2594–2608, 2023. Available from: <<https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/2594>>. Access on: 23 Jul. 2025.

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL (Brasil). *Regulamento Brasileiro da Aviação Civil Especial – RBAC-E nº 94: Regras para aeronaves não tripuladas*. Brasília, 2023. Available from: <<https://www.gov.br/anac/pt-br/assuntos/drones/legislacao-e-normas>>. Access on: 23 Jul. 2025.

AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES (Brasil). *Homologação de equipamentos para uso de radiofrequência*. Brasília, 2023. Available from: <<https://www.gov.br/anatel/pt-br/assuntos/homologacao>>. Access on: 23 Jul. 2025.

ANAC. *Regulamento Brasileiro da Aviação Civil Especial*. Brasília, 2022. Available from: <<https://www.infopedia.pt/dicionarios/verbos-portugueses/houvesse>>. Access on: 23 Jul. 2025.

BRASIL. *Decreto nº 89.817, de 20 de junho de 1984*. Estabelece normas para a execução de serviços cartográficos no território nacional. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 21 jun. 1984. Available from: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1980-1989/D89817.htm>. Access on: 6 Jun. 2025.

BRASIL. *Exército Brasileiro. Diretoria de Serviço Geográfico. Especificação Técnica para Controle de Qualidade de Dados Geoespaciais – CQDG*. 1. ed. Rio de Janeiro: Diretoria de Serviço Geográfico, 2016. Available from: <https://docs.ufpr.br/~deni_ern/CD2020/A1/ET_CQDG_1a_edicao_2016.pdf>. Access on: 20 Jul. 2025.

BRASIL. *Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001*. Estatuto da Cidade. **Diário Oficial da União**, Brasília, 2001.

BRASIL. *Ministério das Cidades. Periferia Viva – Urbanização de Favelas*. [2025]. Available from: <<https://www.gov.br/cidades/pt-br/novo-pac-selecoes/periferia-viva-urbanizacao-de-favelas>>. Access on: 22 Apr. 2025.

CÂMARA, G.; MONTEIRO, A. M. V. *Geoinformação em urbanismo: cidade real, cidade virtual*. **Revista Eletrônica de Ciências Sociais – Civitas**, Porto Alegre, v. 1, n. 1, p. 1–20, 2001. Available from: <<https://www.researchgate.net/publication/285864165>>. Access on: 8 May 2025.

DEPARTAMENTO DE CONTROLE DO ESPAÇO AÉREO (Brasil). *SARPAS NG – Solicitação de Acesso ao Espaço Aéreo por RPAS*. Brasília, 2024. Available from: <<https://www.decea.mil.br/sarpas>>. Access on: 23 Jul. 2025.

DJI. *DJI Air 3S – Especificações técnicas*. Shenzhen: DJI, 2025. Available from: <<https://www.dji.com/br/air-3s/specs>>. Access on: 6 Jun. 2025.

DRONE TASKING MANAGER. *Open-source drone coordination platform*. Available from: <<https://tasks.hotosm.org/>>. Access on: 14 Jul. 2025.

_____. *Plataforma de coordenação de drones de código aberto*. Available from: <<https://dronetm.org/>>. Access on: 14 Jul. 2025.

GEOPEC. *Software GeoPEC – Controle de Qualidade de Dados Geoespaciais*. [2025]. Available from: <<http://www.geopec.com.br/>>. Access on: 14 Oct. 2025.

GOMES, J. G.; PEDRASSOLI, J. C. *Levantamento de características de moradias em favelas com o uso de drone: um experimento na comunidade do Alto das Pombas, Salvador/BA*. In: **SEMINÁRIO NACIONAL SOBRE URBANIZAÇÃO DE FAVELAS – URBFAVELAS**, 3., 2018, Salvador. *Anais [...]*. Salvador: URBFAVELAS, 2018. p. 1–15. Available from: <https://www.sisgeenco.com.br/sistema/urbfavelas/anais2018a/ARQUIVOS/GT2-133-120-20180820145523.pdf>. Access on: 8 May 2025.

HACKNEY, C.; CLAYTON, A. *Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) and their application in geomorphic mapping*. In: **Geomorphological Techniques**. British Society for Geomorphology, cap. 2, seção 1.7, 2015. Available from: [https://www.geomorphology.org.uk/sites/default/files/geom_tech_chapters/2.1.7 UAV s.pdf](https://www.geomorphology.org.uk/sites/default/files/geom_tech_chapters/2.1.7_UAV_s.pdf). Access on: 13 Jun. 2025.

HARTWIG, M.; BOTTACIN, C. D.; GROHMANN, C. H. *Avaliação do desempenho de software de processamento de imagens de RPA*. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO**, 20., 2023, Florianópolis. *Anais [...]*. São José dos Campos: INPE, 2023. p. 1–10. Available from: <https://proceedings.science/sbsr/sbsr-2023/trabalhos/avaliacao-do-desempenho-de-sftware-de-processamento-de-imagens-de-rpa>. Access on: 7 Jun. 2025.

HUMANITARIAN OPENSTREETMAP TEAM. *Humanitarian OpenStreetMap Team*. Available from: <https://www.hotosm.org>. Access on: 14 Jul. 2025.

LI, Q.; SUBICA, A.; KENDRA, J.; ALI, S. H. *Tradição ou modernização? O dilema das comunidades indígenas chinesas*. **Revista Internacional de Estudos do Patrimônio**, v. 29, n. 5, p. 382–397, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1080/13527258.2023.2193818>.

MANDOURAH, A.; HOCHMAIR, H. H. *Analysing the use of OpenAerialMap images for OpenStreetMap edits*. **Geo-Spatial Information Science**, [S. l.], p. 1–16, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1080/10095020.2024.2341747>. Access on: 8 May 2025.

MAPBIOMAS. *Favelas no Brasil crescem em ritmo acelerado e ocupam 106 mil hectares*. MapBiomass Brasil, 2022. Available from: <https://brasil.mapbiomas.org/2022/11/04/favelas-no-brasil-crescem-em-ritmo-acelera-do-e-ocupam-106-mil-hectares/>. Access on: 23 Apr. 2025.

NASCIMENTO, D. A.; LIMA, L. R. M. *Regularização fundiária de interesse social em áreas urbanas: análise dos desafios no Brasil*. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia,

v. 22, n. 81, p. 1–15, 2021. Available from: <https://seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/download/59427/34398/294732>. Access on: 8 May 2025.

OPENAERIALMAP. *Open Aerial Map*. Available from: <https://openaerialmap.org>. Access on: 14 Jul. 2025.

ONU. *Objetivos de Desenvolvimento Sustentável – ODS 11: Cidades e Comunidades Sustentáveis, Meta 11.1*. 2015. Available from: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/11>. Access on: 23 Apr. 2025.

PEIXOTO, F. M. *Processamento e composição de imagens aéreas obtidas com VANT*. 2022. 50 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Agrônômica) — Universidade Estadual Paulista (UNESP), Ilha Solteira, 2022. Available from: <https://repositorio.unesp.br/entities/publication/7591189e-3925-45dd-9aed-183bd0c1cd2e>. Access on: 7 Jun. 2025.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SIMÕES FILHO. *Cidade*. [2025]. Available from: <https://simoefilho.ba.gov.br/cidade/>. Access on: 23 Apr. 2025.

QGIS DEVELOPMENT TEAM. *QGIS Geographic Information System*. Versão 3.28. Open Source Geospatial Foundation Project, 2024. Available from: <https://qgis.org>. Access on: 21 Oct. 2025.

QUINTANILHA, J. A. *Cartografia participativa e o uso de tecnologias acessíveis para o mapeamento comunitário*. **Revista Edugeo**, v. 16, n. 33, p. 156–177, 2021. Available from: <https://revistaedugeo.com.br/revistaedugeo/article/download/1052/565/3259>. Access on: 8 May 2025.

ROLNIK, R. *Os desafios do planejamento e gestão urbana integrada no Brasil. URBE. Revista Brasileira de Gestão Urbana*, Curitiba, v. 7, n. 1, p. 7–18, 2015. Available from: <https://www.scielo.br/j/urbe/a/CqXQ6PctwYQbfWYQJx8MWts/>. Access on: 8 May 2025.

SANTIAGO & CINTRA. *Trimble CenterPoint RTX*. [2025]. Available from: <https://santiagoecintra.com.br/produtos/centerpoint-rtx/>. Access on: 8 May 2025.

SANTOS, A. P. dos et al. *Avaliação da acurácia posicional em dados espaciais utilizando técnicas de estatística espacial: proposta de método e exemplo utilizando a norma brasileira*. **Boletim de Ciências Geodésicas**, Curitiba, v. 22, n. 4, p. 695–718, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/s1982-21702016000400003>. Access on: 6 Jun. 2025.

SILVA, L. S. et al. *Fotogrametria com imagens adquiridas com drones: do plano de voo ao modelo 3D*. 1. ed. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2021. 150 p. Available from: <https://livros.unb.br/index.php/portal/catalog/view/202/363/1929>. Access on: 22 Apr. 2025.

SILVA, R. S.; OLIVEIRA, M. A. *O processo de urbanização e ocupação urbana e seus impactos*. **Observatório Latino-Americano**, v. 6, n. 12, p. 22–36, 2022.

Available from:
<https://ojs.observatoriolatinoamericano.com/ojs/index.php/olel/article/download/3281/2316/8335>. Access on: 8 May 2025.

SIMÕES, D. P. et al. *Métodos de planejamento de rotas para RPAs: uma revisão da literatura*. **Revista Brasileira de Cartografia**, [S. l.], v. 74, n. 2, p. 338–357, 2022. DOI: <https://doi.org/10.14393/rbcv74n2-60138>. Access on: 7 Jun. 2025.

SOARES, C. S.; SANTOS, R. A.; COSTA, J. P. *Aplicação de drones de baixo custo no monitoramento territorial em áreas vulneráveis*. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA**, 14., 2022, [S. l.]. *Anais [...]*. [S. l.]: Realize, 2022. p. 1–12. Available from:
https://www.editorarealize.com.br/editora/anais/sbgfa/2024/TRABALHO_COMPLETO_EV206_MD4_ID1258_TB305_14102024182945.pdf. Access on: 8 May 2025.

STEELE, M. *MMQGIS – A collection of QGIS vector layer plugins*. 2020. Available from: <https://michaelminn.com/linux/mmqgis/>. Access on: 21 Oct. 2025.

TRIMBLE. *Trimble DA2 GNSS Receiver*. [2025]. Available from:
<https://geospatial.trimble.com/en/products/hardware/trimble-da2>. Access on: 6 Jun. 2025.

TZIAVOU, O.; PYTHAROULI, S.; SOUTER, J. *Technical note: Unmanned Aerial Vehicle (UAV) based mapping in engineering geological surveys: considerations for optimum results*. **Engineering Geology**, v. 232, p. 80–89, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2017.11.004>.