



UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA

TAUÃ DE MATOS FETAL

**PROPOSTA METODOLÓGICA PARA MONITORAMENTO DE ÁREA DE
RISCO COM O USO DE AERONAVE REMOTAMENTE PILOTADA PARA
APOIO AO TRABALHO DA DEFESA CIVIL: ESTUDO DE CASO -
ENCOSTA EM SARAMANDAIA**

SALVADOR

2025

TAUÃ DE MATOS FETAL

PROPOSTA METODOLÓGICA PARA MONITORAMENTO DE ÁREA DE RISCO
COM O USO DE AERONAVE REMOTAMENTE PILOTADA PARA APOIO AO
TRABALHO DA DEFESA CIVIL: ESTUDO DE CASO - ENCOSTA EM
SARAMANDAIA

Trabalho apresentado como requisito à conclusão
do curso de Graduação em Engenharia de
Agrimensura e Cartográfica, Departamento de
Engenharia de Transportes e Geodésia da
Universidade Federal da Bahia.

Orientador: Prof. Dr. Fabiano Peixoto Freiman.

Coorientador: Prof. Dr. Mauro J. Alixandrini Junior

SALVADOR
2025

F419 Fetal, Tauã de Matos.

Proposta metodológica para monitoramento de área de risco com o uso de aeronave remotamente pilotada para apoio ao trabalho da defesa civil: estudo de caso - encosta em Saramandaia / Tauã de Matos Fetal. – Salvador, 2025.

60f.: il. color.

Orientador: Prof. Dr. Fabiano Peixoto Freiman.

Coorientadora: Prof. Dr. Mauro José Alixandrini Junior.

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

1. Taludes - Saramandaia. 2. Aerofotogrametria. 3. Defesa civil. 4. Aeronaves remotamente pilotadas. I. Freiman, Fabiano Peixoto. II. Alixandrini Junior, Mauro José. III. Universidade Federal da Bahia. IV. Título.

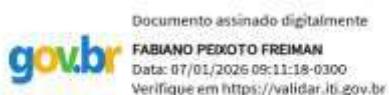
CDD: 624.151 3

TERMO DE APROVAÇÃO

TAUÃ DE MATOS FETAL

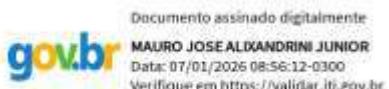
PRODUÇÃO DE BASE CARTOGRÁFICA DE ENCOSTA EM SARAMANDAIA, SALVADOR/BA, COM O USO DE AERONAVE REMOTAMENTE PILOTADA PARA APOIO AO TRABALHO DA DEFESA CIVIL

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.



Prof.º Fabiano Peixoto Freiman

Orientador – Departamento de Engenharia de Transportes e Geodésia, UFBA



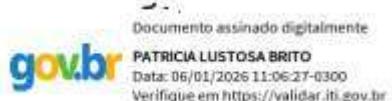
Prof. Mauro José Alixandrini Junior

Coorientador - Departamento de Engenharia de Transportes e Geodésia, UFBA



Prof. Jorge Felipe Euriques

Membro - Departamento de Engenharia UFRRJ



Prof.(a) Patrícia Lustosa Brito

Membro - Departamento de Engenharia de Transportes e Geodésia, UFBA

Salvador, 18 de Dezembro de 2025.

Agradeço primeiramente a Deus, por me conceder força, sabedoria e perseverança para alcançar meus objetivos ao longo de toda a minha trajetória acadêmica. Agradeço à minha mãe, pelo apoio constante durante todo o curso e por acreditar em mim mesmo diante das dificuldades.

Aos amigos que sempre estiveram ao meu lado, pela amizade incondicional e pelo incentivo ao longo de toda a caminhada. Em especial, a José Neris, por todo o apoio nos três primeiros semestres, período em que enfrentei disciplinas exigentes de cálculo e física e cheguei a pensar em desistir, e a Tainá Couto, pela ajuda e companheirismo em diversas disciplinas específicas do curso que cursamos juntos

Ao meu Orientador, Prof. Dr. Fabiano Peixoto Freiman, e ao Coorientador, Prof. Dr. Mauro José Alixandrini Junior, pela orientação, dedicação, paciência e valiosas contribuições ao longo da realização deste trabalho..

Ao coordenador Cenilton Fonseca e ao colega Igor Monte, ambos da SEMIT, pelo suporte, incentivo e apoio durante os últimos semestres. À CODESAL, pelo fornecimento de dados e materiais fundamentais para o desenvolvimento dessa pesquisa.

Por fim, à Universidade Federal da Bahia (UFBA), essencial no meu processo de formação profissional e por tudo o que aprendi ao longo dos anos do curso.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Municípios mais Vulneráveis a Desastres, por Região do Brasil, 2025.....	12
Figura 2: Principais Tipos de RPAs.....	18
Figura 3: Pontos de controle para fenômenos contínuos.....	20
Figura 4: Comparação do antes e depois do deslizamento.....	21
Figura 5: Modelo 3D de moradias próximas a barrancos.....	22
Figura 6: Ortomosaico com zonas de detalhe da superfície.....	23
Figura 7: Curvas de nível geradas no estudo de Lima (2023).....	24
Figura 8: Delimitação da área de estudo no bairro de Saramandaia, Salvador/BA...	26
Figura 9: a) Drone DJI Mavic 2 Pro Zoom b) GNSS geodésico Trimble DA2 GEO...	27
Figura 10: Fluxograma Metodológico.....	28
Figura 11: Estrutura cartográfica da área de estudo na escala 1:1000.....	29
Figura 12: Detalhamento técnico do plano de voo no DroneDeploy.....	30
Figura 13: Distribuição dos Pontos de Controle e Checagem (GCPs e CPs) utilizados no levantamento.....	32
Figura 14: Coleta dos pontos de apoio em campo.....	33
Figura 15: Representação esquemática dos CPs com distribuição agrupada.....	35
Figura 16: Ortomosaicos (a) Drone2map (b) Metashape (c) WEBODM.....	36
Figura 17: Gráfico de Discrepância Posicional - Drone2map.....	37
Figura 18: Gráfico de Discrepância Posicional - Agisoft Metashape.....	38
Figura 19: Gráfico de Discrepância Posicional - WEBODM.....	39
Figura 20: Áreas selecionadas para comparação visual entre os ortomosaicos gerados nos três softwares.....	42
Figura 21: Comparação visual dos ortomosaicos: a) Drone2map; b)WebODM e c)Metashape.....	43
Figura 22: Edificações identificadas na encosta - base cartográfica PMS (2017)....	46
Figura 23: Edificações identificadas na encosta - base cartográfica PMS (2024)....	47
Figura 24: Área atingida pelo deslizamento apresentada na ortofoto da RPA.....	48
Figura 25: Nuvem de pontos densa da encosta de Saramandaia.....	50

Figura 26: Quadriculamento em escala 1:500 da área de estudo.....	53
Figura 27: Quadriculamento em escala 1:250 da área de estudo.....	54
Figura 28: Ilustração da publicação na plataforma (OAM).....	54

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 : Parâmetros do Plano de Voo com DroneDeploy.....	31
Tabela 2 - Resultados GEOPEC - Ortomosaico Drone2Map.....	37
Tabela 3 - Resultados GEOPEC - Ortomosaico Metashape.....	38
Tabela 4 - Resultados GEOPEC - Ortomosaico WEBODM.....	39

LISTAS DE QUADROS

Quadro 1: Resultado dos produtos fotogramétricos gerados em cada software.....	40
--	----

RESUMO

O crescimento da ocupação urbana em áreas de encosta tem intensificado a exposição de populações a riscos geo-hidrológicos, especialmente em cidades com relevo acidentado como Salvador/BA. Nesse contexto, o presente trabalho propõe e avalia uma metodologia de mapeamento em áreas de encostas urbanas baseada no uso de Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPA), com foco no apoio às ações da Defesa Civil. O estudo foi desenvolvido na encosta do bairro de Saramandaia, área historicamente marcada por ocupação irregular e recentemente (2019) por um trágico deslizamento de terra. A metodologia incluiu a estruturação cartográfica - etapa de organização espacial, anterior ao voo, que permitiu garantir uma padronização e divisão regular da área em células menores para planejar, executar e controlar o voo e os produtos gerados (quadrícula de drone); o planejamento e execução de aerolevantamento; o processamento fotogramétrico em três softwares (Drone2Map, Agisoft Metashape e WebODM) e a avaliação da qualidade posicional segundo o Padrão de Exatidão Cartográfica para Produtos Cartográficos Digitais (PEC-PCD), utilizando o software GeoPEC. Os resultados evidenciaram que os produtos gerados - ortofoto, MDT e MDS, apresentam qualidade geométrica e acurácia posicional compatíveis com aplicações de mapeamento urbano em áreas de risco, alcançando classes de exatidão entre A e B na escala de 1:1000, com desempenho diferenciado entre os softwares analisados. A análise integrada de ortofotos multitemporais e da nuvem de pontos tridimensional permitiu identificar mudanças significativas na ocupação da encosta, bem como a identificação de edificações em risco crítico. Por fim, a publicação dos produtos no OpenAerialMap pode ampliar o acesso à informação geoespacial e subsidiar ações preventivas, emergenciais e de planejamento urbano, consolidando o uso de RPAs como ferramenta estratégica no diagnóstico de encostas urbanas.

Palavras-chave: aerofotogrametria; RPA; ortomosaico; encostas; Defesa Civil.

ABSTRACT

The growth of urban occupation in hillside areas has intensified the exposure of populations to geo-hydrological risks, especially in cities with rugged terrain such as Salvador, Bahia. In this context, this study proposes and evaluates a mapping methodology for urban hillside areas based on the use of Remotely Piloted Aircraft (RPA), with a focus on supporting Civil Defense actions. The study was developed on the hillside of the Saramandaia neighborhood, an area historically marked by irregular occupation and recently (2019) by a tragic landslide. The methodology included cartographic structuring - a spatial organization stage prior to the flight, which ensured standardization and regular division of the area into smaller cells to plan, execute, and control the flight and the products generated (drone grid); the planning and execution of aerial surveying; photogrammetric processing in three software programs (Drone2Map, Agisoft Metashape, and WebODM); and the evaluation of positional quality according to the Cartographic Accuracy Standard for Digital Cartographic Products (PEC-PCD), using GeoPEC software. The results showed that the products generated—orthophoto, MDT, and MDS—have geometric quality and positional accuracy compatible with urban mapping applications in risk areas, achieving accuracy classes between A and B on a scale of 1:1000, with differentiated performance between the software analyzed. The integrated analysis of multitemporal orthophotos and the three-dimensional point cloud allowed the identification of significant changes in the occupation of the slope, as well as the identification of buildings at critical risk. Finally, the publication of the products on OpenAerialMap can expand access to geospatial information and support preventive, emergency, and urban planning actions, consolidating the use of RPAs as a strategic tool in the diagnosis of urban slopes.

Keywords: aerial photogrammetry; RPA; orthomosaic; slopes; Civil Defense.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas
AHP - *Analytic Hierarchy Process*
ANAC - Agência Nacional de Aviação Civil
ANATEL - Agência Nacional de Telecomunicações
CODESAL - Coordenadoria de Defesa Civil de Salvador
CQDG - Controle de Qualidade de Dados Geoespaciais
DECEA - Departamento de Controle do Espaço Aéreo
ET-ADGV - Especificação Técnica de Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais
ET-CQDG - Especificação Técnica para Controle de Qualidade de Dados Geoespaciais
GCP - *Ground Control Point (Ponto de Controle)*
GEOPEC - Sistema de Avaliação da Qualidade Posicional Cartográfica
GNSS - *Global Navigation Satellite System*
GSD - *Ground Sample Distance*
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
MDT - Modelo Digital de Terreno
METASHAPE - *Agisoft Metashape Professional*
NSSDA - *National Standard for Spatial Data Accuracy*
OAM - *OpenAerialMap*
PEC-PCD - Padrão de Exatidão Cartográfica para Produtos Cartográficos Digitais
RMS - *Root Mean Square*
RPA - Aeronave Remotamente Pilotada
RTX - *Real-Time Extended* (correção GNSS Trimble)
SEFAZ - Secretaria da Fazenda do Estado da Bahia
VANT - Veículo Aéreo Não Tripulado
WebODM - *OpenDroneMap Web*

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	11
1.1. JUSTIFICATIVA.....	12
1.2 OBJETIVOS.....	14
2 REVISÃO DA LITERATURA.....	15
2.1 FUNDAMENTOS DE FOTOGRAFETRIA DIGITAL E USO DE RPAs.....	15
2.2 LEGISLAÇÃO E NORMAS APLICADAS DO USO DE RPAs.....	15
2.3 TIPOS E CLASSES DE RPA.....	17
2.4 PONTOS DE CONTROLE E LEVANTAMENTO AEROFOTOGRAMÉTRICO.....	19
2.5 EXEMPLOS DE APLICAÇÃO DAS AERONAVES.....	20
3 MATERIAIS E MÉTODO.....	25
3.1 ÁREA DE ESTUDO.....	25
3.2 EQUIPAMENTOS UTILIZADOS.....	27
3.3 MÉTODO.....	27
3.3.1 ARTICULAÇÃO CARTOGRÁFICA DA ÁREA DE ESTUDO.....	28
3.3.2 PLANEJAMENTO DO VOO.....	30
3.3.3 EXECUÇÃO DO VOO E RASTREIO DOS PONTOS DE APOIO.....	32
3.3.4 PROCESSAMENTO DOS DADOS.....	33
3.3.5 AVALIAÇÃO DA ACURÁCIA POSICIONAL.....	34
4. RESULTADOS E ANÁLISES DOS PRODUTOS.....	35
4.1 ANÁLISE POSICIONAL (GEOPEC).....	36
4.2 COMPARAÇÃO TÉCNICA DOS ORTOMOSAICOS.....	40
4.3 COMPARAÇÃO VISUAL DOS ORTOMOSAICOS.....	42
4.4. MAPEAMENTO DE ENCOSTAS E DESLIZAMENTOS COM RPA.....	45
4.5. PUBLICAÇÃO NA PLATAFORMA OPEN AERIAL MAP.....	52
5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES FUTURAS.....	55
REFERÊNCIAS.....	57

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, os eventos climatológicos têm se intensificado, ampliando a frequência e a severidade dos desastres naturais em diversas regiões do mundo. No Brasil, esse cenário se manifesta de forma particularmente crítica nas áreas urbanas, onde chuvas intensas desencadeiam inundações e movimentos de massa capazes de comprometer a infraestrutura e colocar vidas em risco. A combinação entre fatores meteorológicos, geomorfológicos e socioeconômicos, agravada pela ocupação irregular de encostas, produz um ambiente propício à ocorrência de desastres geo-hidrológicos. É nesse contexto desafiador que se insere o presente estudo, voltado à compreensão do risco e ao aprimoramento das estratégias de monitoramento e prevenção.

Os dados nacionais recentes refletem a dimensão do problema: em 2023, cerca de 3,9 milhões de brasileiros viviam em 13.297 áreas classificadas como de risco, distribuídas entre zonas de “risco muito alto” - sujeitas a deslizamentos e inundações - e 9.291 de “risco alto” (AGÊNCIA BRASIL, 2023).

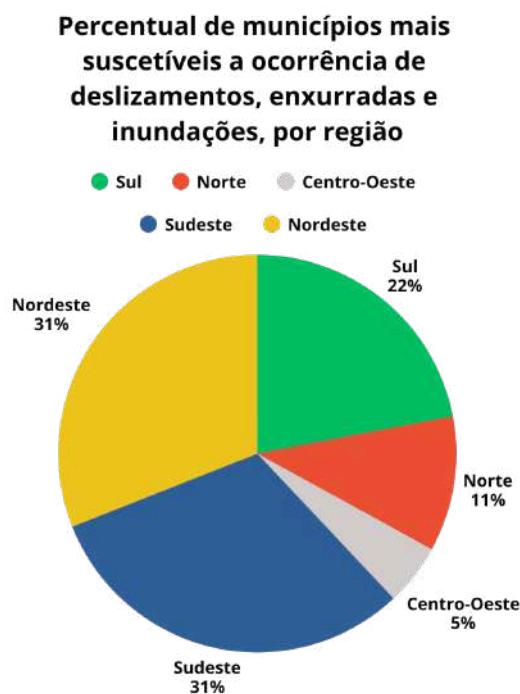
Entre os grandes centros urbanos, Salvador se marca por relevo acidentado e por um processo histórico de expansão urbana desigual, a cidade reúne condições que favorecem instabilidades de taludes, especialmente em encostas densamente ocupadas e carentes de infraestrutura.

Esta dinâmica resultou na formação de uma das maiores concentrações populacionais expostas a riscos geológicos do país. Segundo a Nota Técnica nº 1/2023/SADJ-VI/SAM/CC/PR, Salvador lidera o ranking nacional em número absoluto de moradores em áreas mapeadas com risco geo-hidrológico, totalizando 1.217.527 pessoas em situação de vulnerabilidade, o que representa mais da metade da população municipal. Os registros históricos reforçam essa vulnerabilidade: desde 1551, poucos anos após sua fundação, a capital baiana convive com episódios recorrentes de escorregamentos, culminando, em 1671, em uma das maiores tragédias já documentadas nas Ladeiras da Montanha e da Misericórdia (SILVA, 2005).

No âmbito regional, a região Nordeste (FIGURA 1) lidera em percentual de municípios suscetíveis a desastres geo-hidrológicos. A Bahia, por sua vez, contabiliza 137 municípios em situação crítica, além de apresentar o maior percentual populacional exposto no país, 17,3% de seus habitantes vivendo em

áreas de risco. Estes números evidenciam a escala do problema e reforçam a necessidade de políticas públicas baseadas em informação territorial precisa e atualizada.

Figura 1: Municípios mais Vulneráveis a Desastres, por Região do Brasil, 2025.



Fonte: Nota Técnica nº 1/2023/SADJ-VI/SAM/CC/PR - Adaptado pelo autor (2025).

A partir desse panorama, torna-se evidente que o monitoramento contínuo de encostas urbanas é um elemento central para reduzir vulnerabilidades, orientar ações preventivas e qualificar a resposta municipal frente aos desastres.

1.1. JUSTIFICATIVA

Embora Salvador, ao longo de sua história, tenha avançado em sua política de prevenção - especialmente após os eventos de 2015, com a criação do Centro de Monitoramento e Alerta (CEMADEC), o fortalecimento da Defesa Civil e a reorganização normativa promovida pela Lei Municipal nº8.8969/ 2016 - permanece um desafio estrutural: a defasagem das bases cartográficas utilizadas para o planejamento e tomada de decisão.

Apesar de contar com equipes técnicas qualificadas, a Defesa Civil de Salvador carece de um padrão de dados cartográficos com rápida atualização. Grande parte das ortoimagens e bases vetoriais atualmente disponíveis em uso provém do mapeamento de 2016 e 2017. Isso representa quase uma década de desatualizações, o que implica na limitação da atuação preventiva em contexto de risco.

Diante disto, o aerolevantamento com Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPAs) surge como alternativa para suprir algumas lacunas. Estes equipamentos - leves, construídos em materiais resistentes como fibra de carbono, com estrutura dobrável e facilmente transportáveis - permitem atualizações frequentes, rápidas e precisas, produzindo ortoimagens. O objetivo é espelhar a realidade de um local a partir de fotografias retificadas e corrigidas quanto aos deslocamentos provocados pelo relevo e variações de escala (DEBIASI; FLORENCIO, 2004).

Conforme aponta Souza e Mendes (2025), o uso de RPA na gestão de risco territorial, proporciona coleta de dados mais precisa e abrangente, ampliando as alternativas de atuação dos gestores e favorecendo decisões mais rápidas, precisas e alinhadas às emergências. O emprego desta tecnologia, quando comparada com o processo de mapeamento fotogramétrico tradicional, permite minimizar custos e são ideais para atualizações locais, sobretudo em assentamentos de encostas de pequena escala.

Evidencia-se, ainda, que apenas modernizar o processo de aerolevantamento não basta. É igualmente necessário ampliar os mecanismos de compartilhamento, circulação e colaboração em torno dos dados produzidos. Neste sentido, RPAs representam um avanço técnico fundamental na flexibilidade na coleta de informações; contudo, seu potencial é ampliado quando integrado a iniciativas de mapeamento colaborativo e plataformas de dados abertos. Essa combinação fortalece a gestão territorial, promove transparência e possibilita que gestores e comunidades tenham acesso a informações atualizadas com maior frequência.

O mapeamento de áreas de risco com o uso de RPA, pode ser ainda aprimorado pela implantação de um protocolo de subdivisão cartográfica para padronizar a cobertura área.

A disponibilização contínua desses produtos geoespaciais em plataformas abertas, como a *Open Aerial Map* (OAM), fortalece a política de dados abertos

(atuando como um repositório global que permite download, redistribuição e uso gratuito) da Defesa Civil e amplia o acesso da sociedade e de parceiros institucionais às informações atualizadas.

Diante deste cenário, o presente trabalho propõe a realização de um mapeamento detalhado da área de Saramandaia (bairro da cidade de Salvador - BA), utilizando RPA para gerar ortoimagens atualizadas. A iniciativa inclui a definição de uma nova articulação metodológica para aerolevantamentos com RPAs, baseada em um protocolo de subdivisão cartográfica que permita padronizar, replicar e expandir esse procedimento para outros setores vulneráveis do município. Além disso, todos os dados produzidos serão organizados e disponibilizados por meio da plataforma OAM, fortalecendo a política de dados abertos, ampliando o acesso da geoinformação ao público geral.

1.2 OBJETIVOS

O presente trabalho objetiva fornecer subsídios técnicos à Defesa Civil, para a gestão de riscos e a tomada de decisões em ações de prevenção, a partir de aerolevantamentos de baixo custo com uso de RPA. Especificamente, propõem-se:

- (a) Propor um protocolo de subdivisões cartográficas para padronização de levantamentos com RPA para as encostas de Salvador/BA;
- (b) Planejar e executar o levantamento de campo aerofotogramétrico com uso de RPA na área de estudo;
- (c) Gerar e avaliar os produtos fotogramétricos a partir dos dados brutos obtidos em (b), utilizando diferentes softwares especializados (Webodm, Metashape e Drone2map);
- (d) Avaliar a qualidade, conforme a PEC-PCD, dos produtos gerados em (c) e sua aplicação no mapeamento de áreas de risco;
- (e) Disponibilizar os resultados no OAM para acesso público.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 FUNDAMENTOS DE FOTOGRAFETRIA DIGITAL E USO DE RPAs

A fotogrametria consiste em um método que emprega imagens digitais georreferenciadas para obter dados precisos sobre a forma, as características, as dimensões e a localização espacial de objetos. A Aerofotogrametria é uma subdivisão da Fotogrametria, pois nela as fotografias dos terrenos são tomadas por uma câmera de precisão acoplada em uma aeronave (TOMMASELLI, 2009).

Segundo o site Base Aerofoto (2025), a história da aerofotogrametria no Brasil começa em 1928 com o início das atividades da SARA Brasil S/A, empresa criada por técnicos especialistas italianos e brasileiros. Desde então, a técnica evoluiu significativamente, incorporando atualmente aeronaves não tripuladas e sensores capazes de gerar imagens com precisão centimétrica, além de apresentar vantagens econômicas expressivas. Ademais, a aerofotogrametria demonstra grande versatilidade ao ser aplicada em regiões de difícil acesso ou de alto risco, fornecendo à equipe de campo uma visão em tempo real do ambiente estudado.

De acordo com Silva Neto (2023), os pontos de controle são locais que oferecem uma feição física perfeitamente identificável, tais como intersecções de estradas e de rios, por exemplo. Para aumentar a precisão do levantamento, é fundamental incluir pontos de apoio fotogramétricos, esses pontos identificáveis no terreno, conhecidos como alvos, são elementos naturais ou artificiais que surgem nas imagens capturadas pelos RPAs e servem como referência durante o processamento.

Além dos pontos de controle, é recomendada a utilização de pontos de checagem, que consistem em pontos independentes, também identificáveis no terreno e nas imagens, mas não utilizados no ajuste do modelo. Os pontos de checagem têm a função de avaliar a acurácia posicional final dos produtos gerados

2.2 LEGISLAÇÃO E NORMAS APLICADAS DO USO DE RPAs

Conhecidas popularmente como drones, RPA é regida no Brasil por um conjunto de normativas elaboradas por três órgãos principais: a Agência Nacional de

Aviação Civil (ANAC), a Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL) e o Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA). Essas instituições atuam de forma complementar, assegurando que o uso civil dessa tecnologia ocorra com segurança e respeite os limites técnicos e operacionais estabelecidos para o espaço aéreo brasileiro.

No que diz respeito à regulamentação aeronáutica, destaca-se o Regulamento Brasileiro da Aviação Civil Especial (RBAC-E) nº 94, publicado pela ANAC em 2023. Este regulamento estabelece os requisitos gerais para a operação de RPAs de uso civil no Brasil, considerando o estágio atual de desenvolvimento tecnológico desses equipamentos. O texto define que toda operação remotamente pilotada exige a presença constante do piloto remoto, ainda que o voo possa ocorrer de maneira parcialmente autônoma em caso de falha no enlace de comando e controle. O RBAC-E 94 também integra um sistema regulatório mais amplo, articulando-se com outros dispositivos legais voltados à segurança da aviação civil (ANAC, 2023).

Paralelamente à ANAC, a ANATEL atua na homologação dos equipamentos que utilizam frequências de radiofrequência - como é o caso dos RPAs, cujos transmissores estão presentes tanto nos controladores remotos quanto nas próprias aeronaves. Para tanto, é exigido o preenchimento de um requerimento no site da Agência, o pagamento de taxa e a apresentação das especificações técnicas do equipamento. É importante ressaltar que a autorização de voo concedida pela ANAC não substitui a homologação junto à ANATEL, sendo ambas obrigatórias e complementares (ANATEL, 2023).

Já o DECEA, vinculado ao Comando da Aeronáutica, regula o acesso das aeronaves não tripuladas ao espaço aéreo brasileiro. A Instrução ICA 100-40, de 2023, é o documento que detalha os procedimentos e responsabilidades para a liberação de voos de RPAs. Segundo esta norma, os voos devem ser previamente autorizados pelo órgão regional de controle do espaço aéreo responsável pela área em que ocorrerá a operação, conforme estabelecido pela Convenção de Chicago. Essa autorização pode ser automática - quando as condições operacionais estiverem dentro dos parâmetros estabelecidos - ou pode depender de uma análise específica por parte do órgão de Gerenciamento do Tráfego Aéreo (ATM), caso a operação exija condicionantes adicionais para garantir a segurança da navegação

(DECEA, 2023).

Esse conjunto de regulamentações demonstra o grau de complexidade e responsabilidade exigido para operar RPAs em território nacional, especialmente em áreas urbanas densamente povoadas ou com infraestrutura crítica. A conformidade com essas normas é essencial para que levantamentos com RPAs possam ser considerados tecnicamente válidos, legalmente autorizados e operacionalmente seguros.

2.3 TIPOS E CLASSES DE RPA

As Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPAs), também conhecidas como drones, ganharam espaço no setor civil por sua versatilidade, precisão e baixo custo operacional, sendo amplamente utilizadas em mapeamentos, inspeções, monitoramento ambiental e levantamentos topográficos. O termo RPA refere-se, especificamente, àquelas aeronaves utilizadas para fins não recreativos — como atividades técnicas, comerciais ou institucionais — e cuja operação pode ocorrer tanto de forma manual (via controle remoto) quanto autônoma, por meio de sistemas embarcados de navegação (CHAMAYOU, 2015).

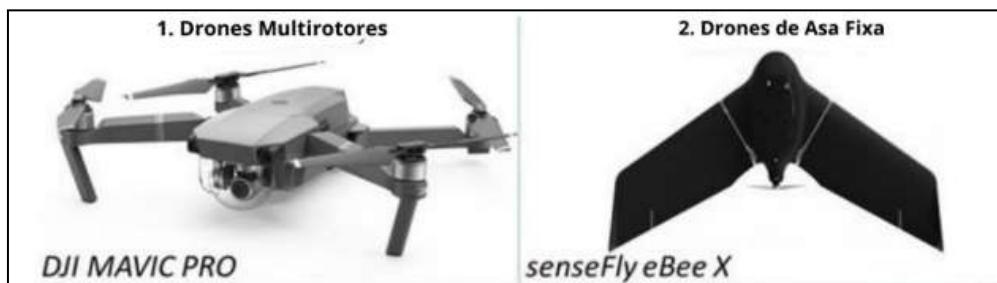
Segundo regulamentações da Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), as RPAs são classificadas de acordo com o seu Peso Máximo de Decolagem (PMD) em três categorias: Classe 1: aeronaves com PMD superior a 150 kg; Classe 2: entre 25 kg e 150 kg e Classe 3: até 25 kg.

Aeronaves com peso inferior a 250 g estão isentas de cadastro junto à ANAC. Entretanto, RPAs de classe 1 e 2 exigem que seus operadores possuam licença e habilitação válidas emitidas pela agência reguladora, além da observância a parâmetros mínimos de segurança, como a distância de 30 metros horizontais de pessoas não anuentes durante a operação (ANAC, 2021 apud BRITO, 2024).

Além da classificação por peso, os RPAs também podem ser divididos quanto à sua conformação física, sendo os dois principais tipos: os modelos de asa fixa e os multirotóres (FIGURA 2). Os RPAs de asa fixa possuem estrutura semelhante à de um avião convencional, com superfícies sustentadoras que favorecem maior autonomia de voo e eficiência energética. Essa característica os torna ideais para mapeamentos de grandes áreas e projetos que demandem voos

longos e contínuos. Alguns modelos, especialmente os de uso militar ou científico, podem permanecer em operação por até 16 horas ininterruptas. Em contrapartida, sua principal limitação está na decolagem e pouso, que normalmente exigem áreas abertas e procedimentos manuais ou o uso de catapultas e paraquedas. (FARIA, 2015)

Figura 2: Principais Tipos de RPAs



Fonte: SOUSA, José Cleilton do Nascimento. Desenvolvimento de drone autônomo multirotor de baixo custo para aplicações de entrega. Redenção: UNILAB, 2024, p. 26.

Já os RPAs multirotores, como quadricópteros, hexacópteros e octocópteros, são mais populares em aplicações civis e urbanas. Isso se deve à sua capacidade de decolagem vertical, alta estabilidade em voo e maior manobrabilidade, inclusive em áreas restritas ou com obstáculos. O modelo quadricóptero, por exemplo, é amplamente utilizado por órgãos públicos e empresas privadas por combinar boa qualidade de imagem, controle preciso e custo acessível. Por outro lado, sua autonomia de voo tende a ser mais limitada, o que pode restringir sua utilização em levantamentos de grandes extensões ou com elevada demanda de sensores embarcados. (PAMELA,2024)

Dentro do grupo de multirotores, a subdivisão é feita com base no número de hélices: Tricópteros (3 hélices): leveza e controle básico, menos comuns no mercado atual; Quadricópteros (4 hélices): equilíbrio entre desempenho e simplicidade de uso; Hexacópteros (6 hélices): maior estabilidade e resistência ao vento e Octocópteros (8 hélices): capacidade de carga superior e ideal para sensores avançados, embora com custo e manutenção mais elevados (PAMELA, 2024).

Lins (2019) destaca que, do ponto de vista da engenharia e do planejamento

urbano, os multirotóres têm se mostrado bastante eficazes em áreas urbanas densamente povoadas, por conseguirem operar com segurança em espaços mais confinados. São cada vez mais utilizados por órgãos públicos em ações de regularização fundiária, cadastramento urbano, detecção de áreas sujeitas a alagamentos ou deslizamentos, bem como na coleta de dados para elaboração de memoriais descritivos. Essas informações são fundamentais para a geração de ortoimagens atualizadas, com alta resolução espacial e precisão centimétrica (SILVA; COSTA, 2010; SILVA, 2007).

No contexto deste trabalho, a escolha pelo drone DJI Mavic 2 Pro/Zoom, do tipo quadricóptero, justifica-se pelo seu equilíbrio entre qualidade de imagem, portabilidade e segurança de operação em áreas de risco. O equipamento é compatível com softwares fotogramétricos de código aberto, como o WebODM, além de permitir a captura de imagens georreferenciadas com boa acurácia posicional quando associados a pontos de controle coletados com GNSS de alta precisão.

Assim, compreender os diferentes tipos e classes de RPAs é essencial não apenas para o planejamento do levantamento aerofotogramétrico, mas também para assegurar a legalidade da operação e a compatibilidade técnica entre equipamento, objetivo e área de estudo.

2.4 PONTOS DE CONTROLE E LEVANTAMENTO AEROFOTOGRAFÉTRICO

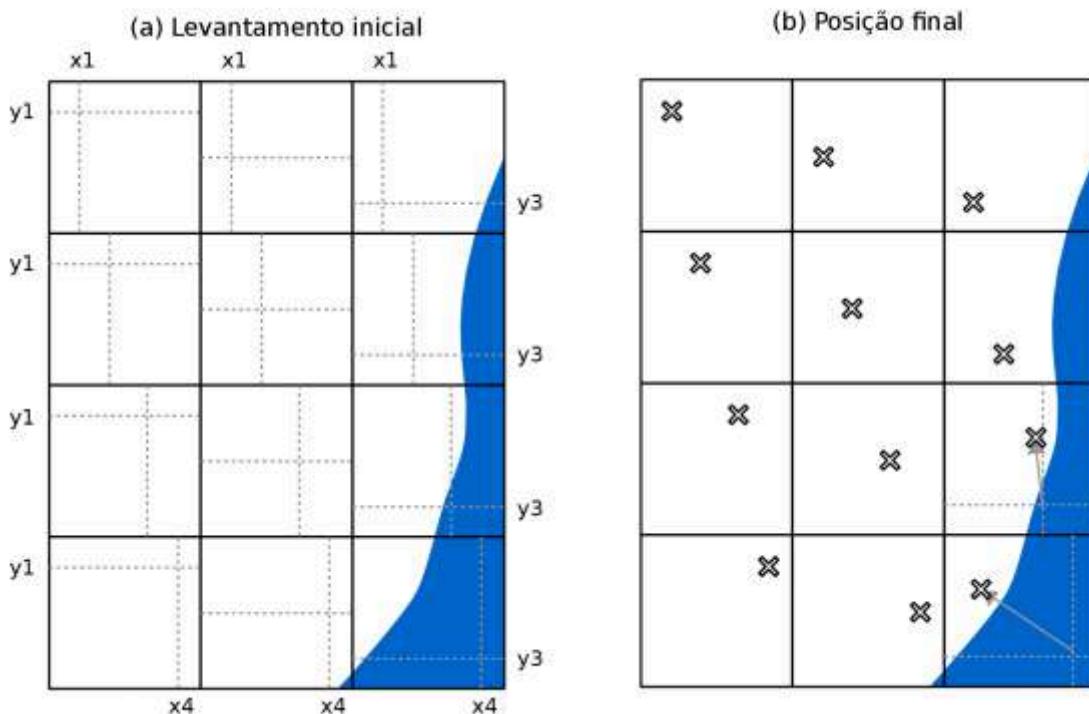
O georreferenciamento de produtos aerofotogramétricos, especialmente quando obtidos por aeronaves que não dispõem de sistemas GNSS de alta precisão embarcados, exige a utilização de Pontos de Controle em Solo (GCPs – Ground Control Points), cujo papel é corrigir desvios de posicionamento inerentes aos sensores e ao processo de ortorrectificação (MENDES; NEUTZLING, 2021).

Para garantir a qualidade métrica da ortofoto, é fundamental observar tanto o número quanto a distribuição espacial dos GCPs (FIGURA 3). Zanetti, Gripp Junior e Santos (2016) avaliaram diferentes configurações de pontos de controle e demonstraram que a presença de um conjunto maior de GCPs, distribuídos de forma homogênea por toda a cena, reduz de modo significativo o erro posicional, enquanto agrupamentos concentrados tendem a gerar distorções localizadas no mosaico ortorectificado. Além disso, acrescentar pontos de controle em áreas críticas de

relevo contribui para minimizar discrepâncias em regiões de alto desnível.

Na fase de planejamento de voo, os GCPs devem ser demarcados antes do levantamento, por meio de marcadores duráveis - como placas de madeira ou pintura temporária no solo - fixados com estacas para resistirem a intempéries e ao tráfego de campo (CARVALHO, 2019). Em áreas urbanas, torna-se vantajoso aproveitar “alvos naturais” que não corram risco de remoção, tais como cantos de esquinas, vértices de calçadas ou faixas de pedestres - desde que registrados de forma a garantir visibilidade e permanência ao longo dos dias de operação.

Figura 3: Pontos de controle para fenômenos contínuos



fonte: ET-CQDG, 1^a edição, 2016.

2.5 EXEMPLOS DE APLICAÇÃO DAS AERONAVES

Diversos estudos exploram o potencial de RPAs como instrumentos de diagnóstico e monitoramento territorial, demonstrando sua eficácia na obtenção de dados precisos, ágeis e de baixo custo.

Costa Junior (2024), realizou análises de deslizamentos de talude na BR-116 (km 181), onde um talude rompeu após fortes chuvas em junho de 2023. Utilizando

um drone DJI Mini 3, foram capturadas 842 imagens, processadas no software Agisoft Metashape, gerando produtos fotogramétricos de alta qualidade.

O estudo obteve erro médio ponderado de apenas 0,32% entre as medições em campo e os dados extraídos do modelo, demonstrando que mesmo equipamentos de pequeno porte, quando operados com planejamento e rigor técnico, são capazes de fornecer resultados confiáveis para fins de projeto e monitoramento.

A partir do ortomosaico (FIGURA 4) e dos modelos gerados, foi possível delimitar a área afetada (6.796 m^2), calcular a declividade dos taludes, traçar curvas de nível e identificar elementos críticos conforme a NBR 11682 - Estabilidade de Encostas, além de relacionar o evento ao volume pluviométrico de 187,6 mm registrado nas 48 horas anteriores ao deslizamento.

Figura 4: Comparação do antes e depois do deslizamento



Fonte: Costa Junior (2024)

Patêz (2023), realizou o monitoramento de áreas de risco associadas a escorregamentos e inundações. O estudo apresenta uma aplicação avançada do uso de Aerofotogrametria com RPA para o mapeamento de riscos ambientais em áreas urbanas vulneráveis. O trabalho foi realizado no município de Ecoporanga (ES), localidade marcada por um relevo acidentado e pela presença do rio Dois de Setembro, que historicamente apresenta episódios de inundações e escorregamentos de massa. O autor propôs o uso de um Mavic 2 Pro e um receptor GNSS A30 RTK, alcançando alta precisão posicional. O levantamento contou com 19 pontos de controle (GCPs) e 9 pontos de verificação, permitindo gerar produtos cartográficos de grande detalhamento, como ortofoto, modelo digital de terreno

(MDT), mapa hipsométrico e modelo 3D (FIGURA 5).

A partir desses produtos, foi empregada a análise multicritério com o método AHP (Analytic Hierarchy Process), integrando variáveis como declividade, altitude e uso do solo - ponderadas de acordo com seu grau de influência nos processos de inundação e instabilidade de encostas. A modelagem multicriterial permitiu identificar as áreas de baixo, médio e alto risco, as quais foram posteriormente validadas em campo e comparadas às delimitações oficiais da BATER/IBGE (Base Territorial Estatística de Áreas de Risco).

Patêz (2023) também ressalta o papel social do engenheiro cartógrafo na construção de diagnósticos que aproximam a tecnologia das comunidades mais vulneráveis, traduzindo dados técnicos em informações comprehensíveis para a gestão pública.

Figura 5: Modelo 3D de moradias próximas a barrancos



Fonte: Patêz (2023)

Rodrigues e Silva (2018) desenvolveram um estudo aplicado ao Aterro de Resíduos Sólidos do Jangurussu, em Fortaleza (CE), com o objetivo de analisar o risco potencial à erosão em um ambiente altamente suscetível à instabilidade geotécnica. Utilizando um VANT DJI Phantom 4, foram obtidas imagens aéreas para geração de um Modelo Digital de Elevação (MDE) com resolução de aproximadamente 63,5 cm. A partir desse modelo, foram derivadas variáveis geomorfométricas fundamentais, como a declividade, orientação de vertentes e curvaturas vertical e horizontal, que permitiram compreender o comportamento das vertentes e identificar setores críticos do antigo aterro.

Os produtos gerados foram integrados para compor a Carta de Avaliação do Risco Morfológico à Erosão (CARMOE), na qual as vertentes sul, leste, sudeste e parte da vertente norte apresentaram classes de risco alto e muito alto, especialmente em setores ocupados irregularmente e próximos ao rio Cocó. O estudo evidenciou que, mesmo sem registros aparentes de movimentos de massa recentes, o aterro permanece estruturalmente vulnerável devido à combinação de declividades acentuadas, solos instáveis e influência de fatores antrópicos.

A FIGURA 6 ilustra o ortomosaico com zonas de detalhe da superfície, que serviram de base para a interpretação morfológica e identificação dos padrões de erosão observados na área mapeada.

Figura 6 - Ortomosaico com zonas de detalhe da superfície

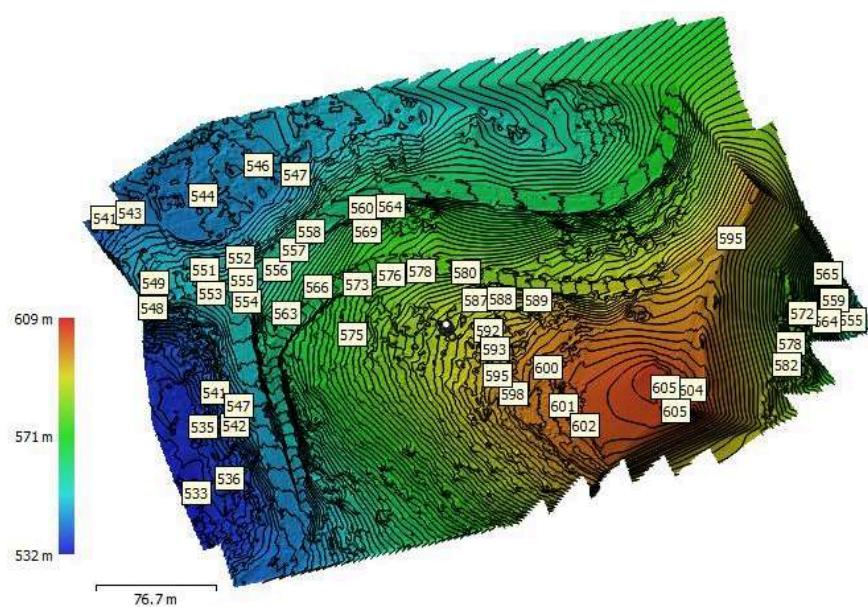


Fonte: Adaptado de Rodrigues e Silva (2018)

Outro estudo relevante é o de Lima (2023), que investigou a aplicação integrada da fotogrametria por RPA e da modelagem tridimensional para análise da estabilidade de taludes. A pesquisa foi conduzida em uma área de risco no município de Areia (PB), previamente identificada pela CPRM (2015) como suscetível a movimentos de massa. Utilizando um drone DJI Mavic Mini 2 e planejamento de voo na plataforma Drone Harmony, foram obtidas imagens de alta resolução que permitiram a geração de nuvem de pontos, Modelo Digital de Superfície (MDS), Modelo Digital do Terreno (MDT) com curvas de nível (FIGURA 7) e ortomosaico detalhado.

Os produtos fotogramétricos foram posteriormente integrados ao software Slide3, possibilitando a execução de análises tridimensionais de estabilidade com base em parâmetros geotécnicos provenientes de sondagens e ensaios laboratoriais. Os resultados indicaram fatores de segurança variando entre 1,11 e 1,89, valores compatíveis com estudos anteriores e adequados à caracterização de áreas de instabilidade. O trabalho demonstra como a combinação entre RPA, fotogrametria e modelagem 3D pode ampliar significativamente a eficiência, a precisão e a rapidez no diagnóstico de taludes, representando uma alternativa de grande potencial para monitoramento, planejamento urbano e tomada de decisão em obras de geotecnia.

Figura 7 - Curvas de nível geradas no estudo de Lima (2023)



Fonte: Lima (2023)

3 MATERIAIS E MÉTODO

Nesta seção são apresentados os tópicos relacionados a metodologia e materiais empregados para alcançar os objetivos específicos propostos. Primeiramente, descreve-se a área de estudo (3.1), seguido da descrição dos equipamentos empregados para obtenção dos dados em campo (3.2). Posteriormente, o método é explicitado (3.3).

3.1 ÁREA DE ESTUDO

A encosta analisada neste trabalho está localizada no bairro de Saramandaia, na prefeitura bairro - VIII - Cabula / Tancredo Neves, em Salvador/BA. A delimitação oficial desse bairro foi estabelecida pela Lei Municipal nº 9.278/2017, que define sua área territorial em aproximadamente 32,772 hectares, conforme a poligonal descrita na referida legislação (FIGURA 8).

A ocupação da área teve início durante a construção do Terminal Rodoviário de Salvador, em 1974, quando grupos de baixa renda se instalaram no local em busca de moradia acessível. O crescimento populacional espontâneo resultou na formação do que hoje é conhecido como Saramandaia, seguindo um padrão semelhante ao observado em outros bairros como Pernambués, onde a população optou por áreas com preços de terra mais baixos e boa acessibilidade urbana. A proximidade com centros comerciais, como o Shopping da Bahia, contribuiu para a consolidação do bairro como uma zona de interesse para ocupação informal (BORGES, 2019).

A encosta analisada foi cenário de um grave deslizamento de terra, ocorrido a partir da cota superior do talude, que atingiu parcialmente uma residência localizada no setor crítico de Saramandaia, conforme reportagem do portal Metro1 (2025). Atualmente, 2025, a localidade passa por processos de adaptações e obras de infraestrutura para minimizar riscos.

Figura 8: Delimitação da área de estudo no bairro de Saramandaia, Salvador/BA



Fonte: Autor (2025).

3.2 EQUIPAMENTOS UTILIZADOS

Empregou-se o RPA DJI Mavic 2 Pro/Zoom - Figura 9a - resolução de 12 megapíxeles e sensor CMOS de 1/2.3", disponibilizado pela Coordenadoria de Defesa Civil de Salvador (CODESAL) para a realização do aerolevantamento da região. As coordenadas dos pontos de controle foram determinadas com o receptor GNSS geodésico Trimble DA2 GEO, integrado à coletora Trimble TDC6 - Figura 9b.

Figura 9: a) Drone DJI Mavic 2 Pro Zoom b) GNSS geodésico Trimble DA2 GEO



(a) Fonte: UAVCOACH, 2019

(b) Fonte: TOMASINI (2025)

O DJI Mavic 2 Zoom, ARP de classe 3 conforme a ANAC, é equipado com sistema visual omnidirecional, sensores de proximidade infravermelhos e estabilizador triaxial, garantindo elevada estabilidade e segurança durante o voo. Segundo o Manual do Usuário do Mavic 2 Pro/Zoom v1.2, o modelo possui autonomia aproximada de 31 minutos, velocidade máxima de 72 km/h e câmera CMOS de 12 MP com zoom óptico de 2x.

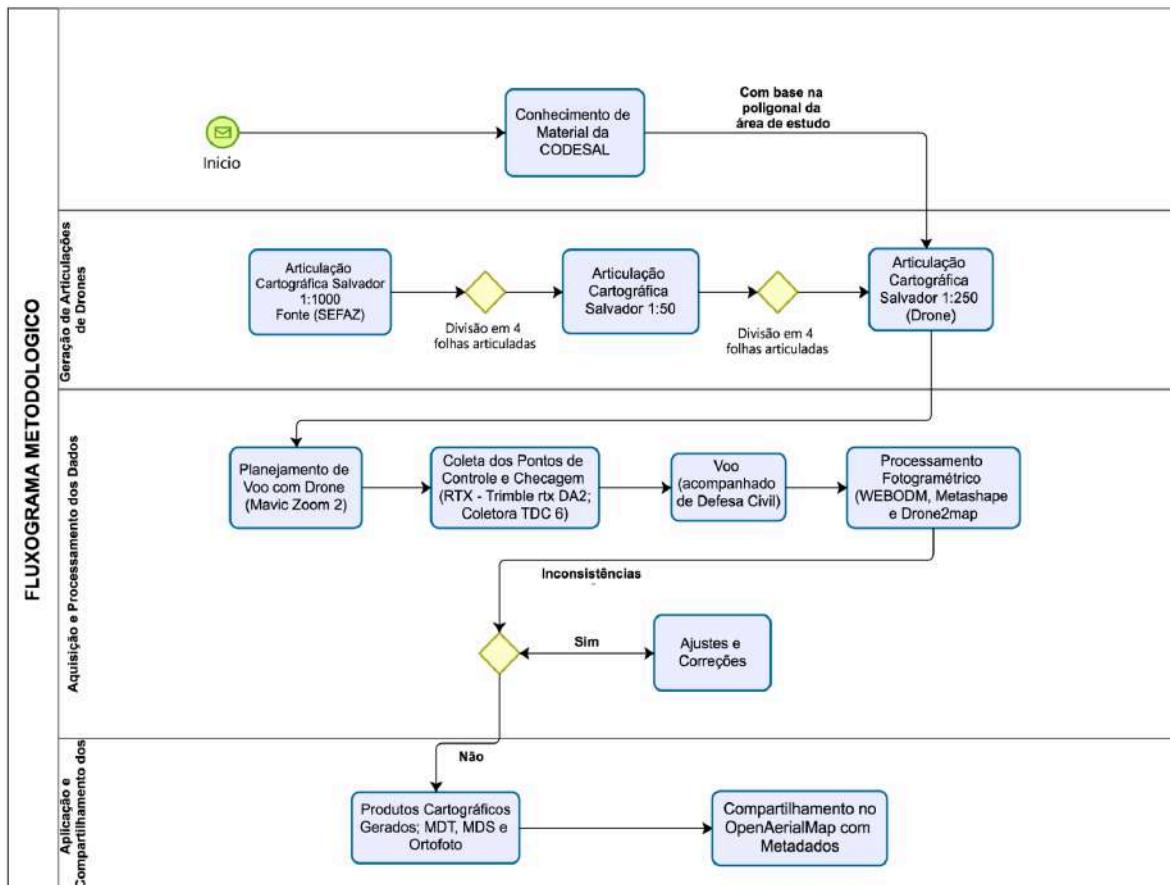
O GNSS TRIMBLE DA2 e coletor de dados TRIMBLE TDC6 possui uma vantagem por ser mais compacto e leve: com apenas 330 g, é pequeno o suficiente para ser transportado para qualquer lugar. Essa tecnologia dispensa o uso de bases físicas, por operar com método RTX, o que facilita o uso em locais remotos ou com difícil acesso à infraestrutura (Trimble, 2025).

3.3 MÉTODO

A metodologia adotada neste trabalho compreende três fases principais: (i) articulação cartográfica da área de estudo, (ii) aquisição e processamento dos dados geoespaciais (iii) Avaliação da acurácia dos produtos e (iv) disponibilização dos

produtos cartográficos no OpenAerialMap (OAM). O fluxo metodológico está representado na FIGURA 10.

Figura 10: Fluxograma Metodológico



Fonte: Autor (2025).

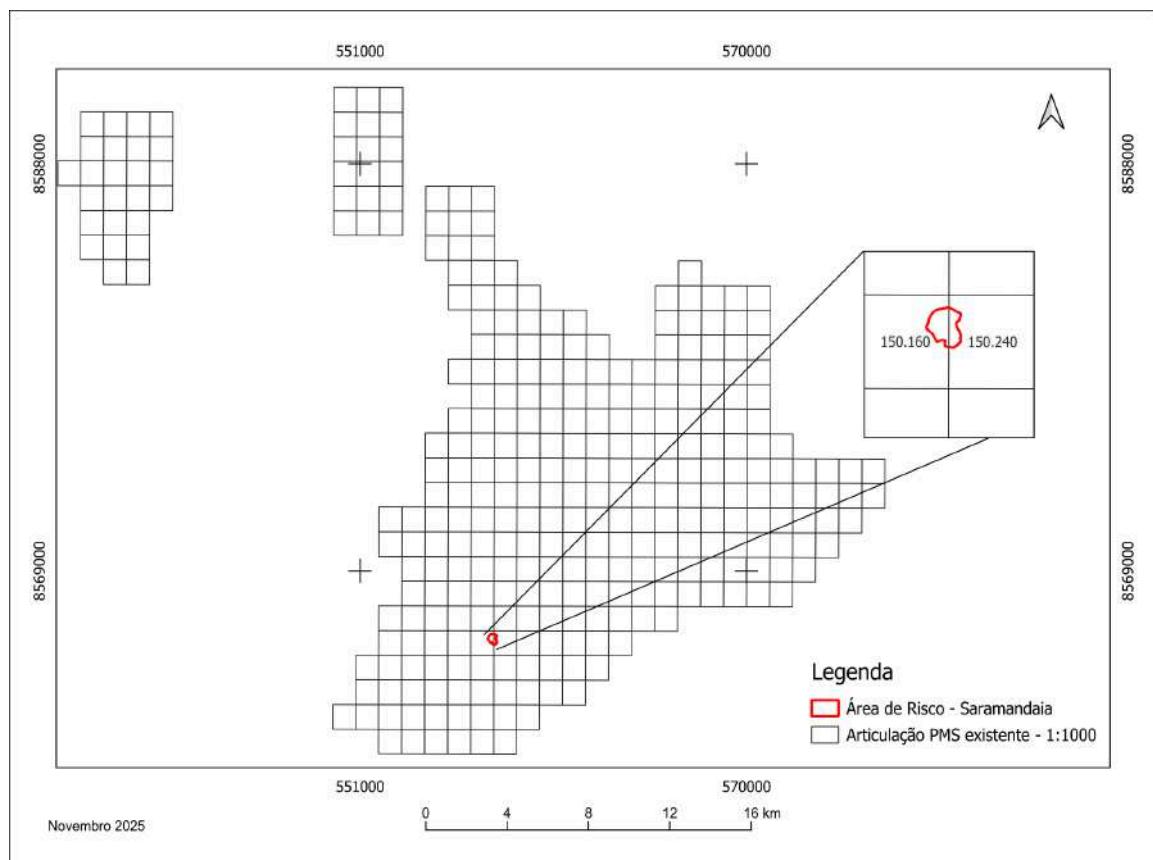
3.3.1 ARTICULAÇÃO CARTOGRÁFICA DA ÁREA DE ESTUDO

A estruturação cartográfica da área de estudo constitui uma etapa fundamental para o planejamento e organização do mapeamento aerofotogramétrico com RPA, de forma sistemática, de modo a ser replicado visando o monitoramento da área. A delimitação territorial se baseou na articulação cartográfica oficial da Secretaria da Fazenda do Estado da Bahia (SEFAZ-BA), na escala de 1:1000, a qual serviu como referência para o desdobramento das divisões espaciais mais detalhadas (FIGURA 11).

Com o apoio da plataforma QGIS, foi realizada a geração de centróides em relação a articulação cartográfica existente (escala 1:1000) e a posterior subdivisão regular de quadrículas para criar novas malhas nas escalas de 1:500 e 1:250, adequadas à densidade de informação pretendida. As dimensões das articulações propostas na escala de 1:500 e 1:250, foram respectivamente: 566 m x 577 m e 283 m x 289 m. Esta última foi confeccionada para orientar a delimitação das áreas de voo do presente estudo, por oferecer precisão e compatibilidade com os requisitos de detalhamento. Com isso, foram escolhidas seis quadrículas da malha 1:250, abrangendo uma área aproximada de 48 hectares sobre a encosta em análise.

Além de atender às necessidades deste trabalho acadêmico, a proposta de criação dessa malha cartográfica visa também fornecer uma base padronizada que possa ser reutilizada pela Prefeitura de Salvador em futuros levantamentos com RPA em outras áreas de encosta do município. As figuras a seguir ilustram as diferentes escalas de articulação utilizadas (1:1000, 1:500 e 1:250), demonstrando o refinamento progressivo da divisão territorial conforme os objetivos do mapeamento.

Figura 11: Estrutura cartográfica da área de estudo na escala 1:1000

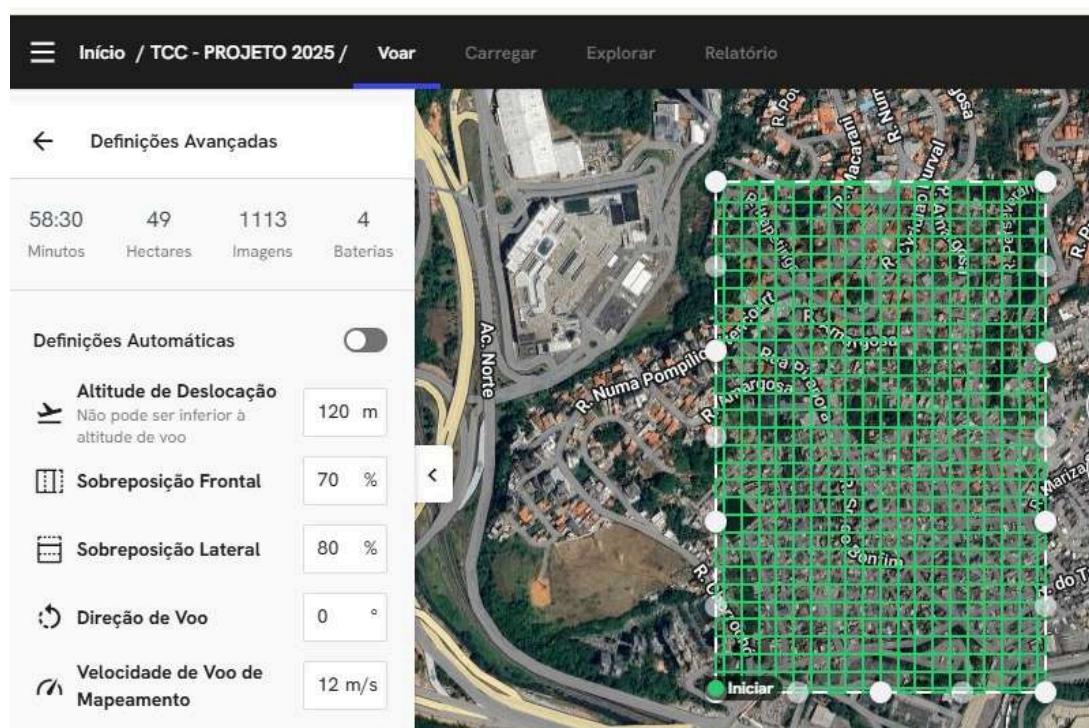


Fonte: Autor (2025).

3.3.2 PLANEJAMENTO DO VOO

O planejamento do voo foi realizado por meio da plataforma DroneDeploy (FIGURA 12), uma ferramenta amplamente utilizada na execução de levantamentos aerofotogramétricos com RPA. O DroneDeploy é compatível com sistemas operacionais Android e iOS, além de oferecer integração com sua versão web, o que permite que o planejamento seja feito tanto por dispositivos móveis quanto por computadores.

Figura 12: Detalhamento técnico do plano de voo no DroneDeploy



Fonte: Autor (2025).

O plano de voo foi estruturado visando a cobertura de aproximadamente 48 hectares, abrangendo 6 folhas cartográficas na escala de 1:250, de acordo com a divisão realizada. O voo foi programado para ser executado com altura de 120 metros, sobreposição frontal de 80% e lateral de 70%, garantindo qualidade no processamento das imagens e fidelidade na ortorretificação (TABELA 1).

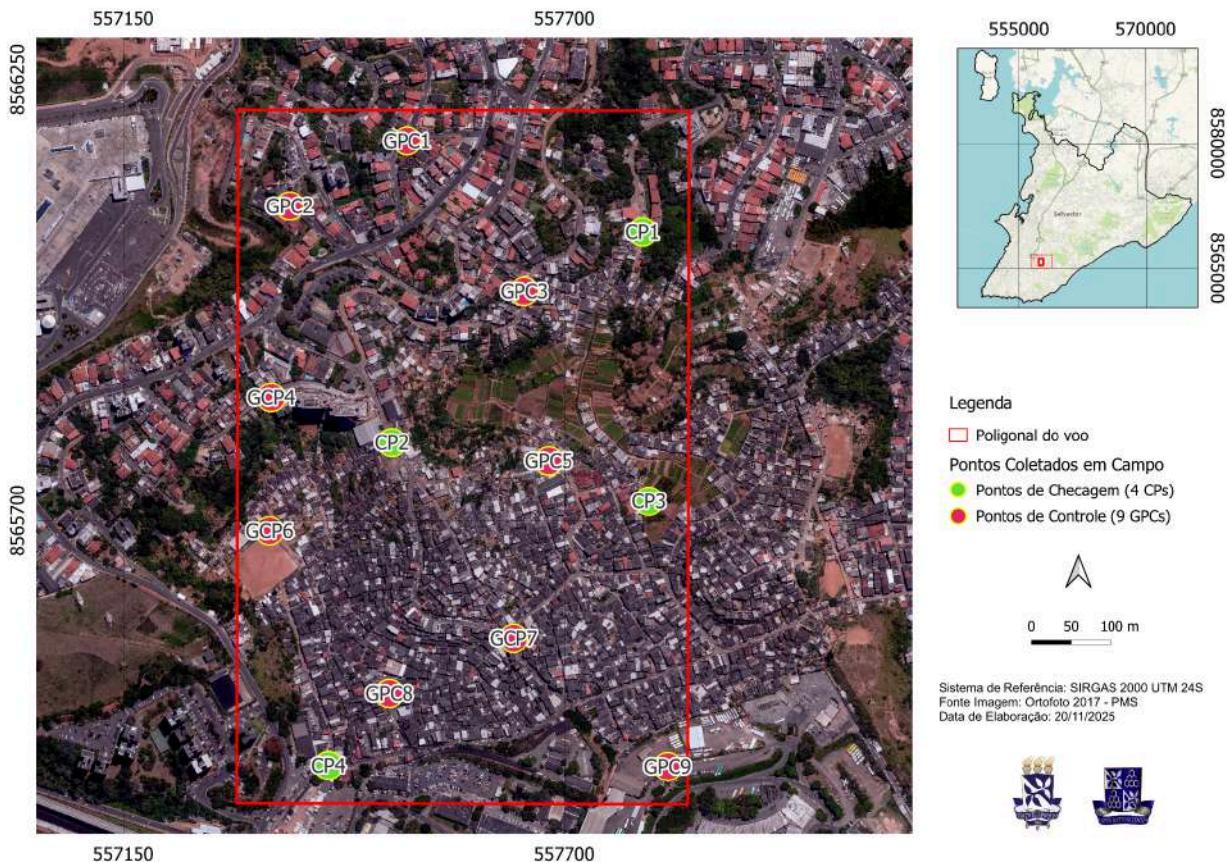
Tabela 1 : Parâmetros do Plano de Voo com DroneDeploy

Tipo	Valor
Área Coberta	48 Ha
Altura do Voo	120 m
Sobreposição Frontal	80 %
Sobreposição Lateral	70%
Velocidade de Voo	12 m/s
Números de Imagens	1.113
Tempo Estimado	58 m
Número de Baterias	4

Fonte: Autor (2025).

Para garantir a acurácia posicional da ortofoto gerada, foram definidos nove pontos de controle terrestres (GCPs) e quatro de checagem (CPs) - (FIGURA 13), estrategicamente distribuídos sobre a área de estudo. A escolha da quantidade e da disposição espacial dos pontos seguiu a recomendação da Especificação Técnica para a Qualidade dos Dados Geoespaciais (ET-CQDG, 2016), que orienta a distribuição dos GCPs de forma a cobrir as extremidades e o centro da área levantada, proporcionando maior estabilidade no processo de aerotriangulação e ortorretificação.

Figura 13: Distribuição dos Pontos de Controle e Checagem (GCPs e CPs) utilizados no levantamento.



Fonte: Autor (2025).

3.3.3 EXECUÇÃO DO VOO E RASTREIO DOS PONTOS DE APOIO

O voo fotogramétrico foi executado em 30 de julho de 2025, com o apoio técnico da CODESAL e da Secretaria de Infraestrutura de Salvador (SEINFRA). A operação seguiu o plano de voo previamente configurado na plataforma DroneDeploy, contemplando a cobertura de aproximadamente 48 hectares da área de estudo, conforme definido na estruturação cartográfica. As condições meteorológicas no dia do levantamento foram estáveis, sem ocorrência de ventos fortes ou precipitação.

Na mesma ocasião, foram coletados treze pontos de controle e checagem (GCPs e CPs), distribuídos na área de estudo. O rastreio foi realizado com o receptor GNSS geodésico Trimble DA2 GEO, acoplado à coletoira Trimble TDC6. Os

pontos foram rastreados em locais com boa visibilidade do céu, priorizando cruzamentos, esquinas e áreas abertas que possibilitaram fácil identificação nas imagens aéreas. O tempo médio de rastreio por ponto (5 minutos) foi suficiente para assegurar a convergência das soluções GNSS utilizando a tecnologia RTX. A FIGURA 14 ilustra a sinalização dos pontos de controle e checagem por meio de alvos e a definição das coordenadas em campo.

Figura 14: Coleta dos pontos de apoio em campo.



Fonte: Autor (2025).

3.3.4 PROCESSAMENTO DOS DADOS

Após a aquisição dos dados, estes foram processados em três softwares, o Drone2map, Metashape e WebODM. Todos os processamentos foram executados na configuração Qualidade Alta, que utiliza todas as informações disponíveis nas imagens, demanda maior uso de RAM e tempo de processamento, e produz modelos densos, detalhados e com melhor precisão geométrica. Essa configuração é amplamente recomendada para aplicações de engenharia, arqueologia e modelagem topográfica, razão pela qual foi adotada neste estudo.

O processamento foi realizado em um computador com sistema operacional Windows 11 Pro (versão 23H2), processador AMD Ryzen 5 5600G com gráficos

integrados Radeon (3.90 GHz), 32 GB de memória RAM e arquitetura de 64 bits. Apesar da ausência de GPU dedicada, o elevado volume de memória e a capacidade multicore do processador permitiram a execução completa dos três processamentos.

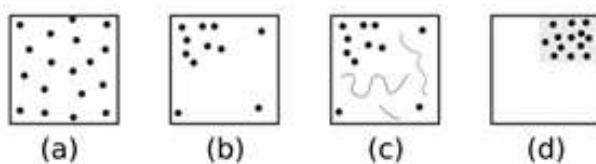
3.3.5 AVALIAÇÃO DA ACURÁCIA POSICIONAL

A avaliação da qualidade posicional é uma etapa essencial na verificação da confiabilidade de produtos cartográficos gerados por aerofotogrametria, pois determina se as informações espaciais atendem aos padrões normativos exigidos. De acordo com Calderaro, Carvalho e Santos (2024), a qualidade posicional deve ser analisada à luz de normas brasileiras e internacionais, tais como o Decreto nº 89.817/1984, a ET-ADGV/ET-CQDG, a Norma de Execução INCRA nº 02/2018 e o padrão ASPRS (2014), considerando tanto a acurácia planimétrica quanto altimétrica.

O software utilizado para realizar essa análise foi o GEOPEC, desenvolvido por Santos (2008). Este software é baseado na comparação entre coordenadas de pontos de checagem independentes e seus homólogos no produto cartográfico, avaliando discrepâncias, comportamento estatístico, tendência e conformidade com tolerâncias estabelecidas pelas normas.

Embora normas internacionais como a NSSDA recomendem cerca de 20 pontos distribuídos na área de interesse, e a STANAG estabeleça aproximadamente 168 pontos, a literatura apresenta diferentes abordagens para essa definição, como as propostas por Cintra e Nero (2015), Ariza e Atkinson (2008) e Nogueira Jr. et al. (2004), destacando que a escolha do número de pontos deve considerar o equilíbrio (FIGURA 15) entre os custos operacionais envolvidos no levantamento e o nível de confiabilidade desejado na validação da acurácia posicional. No presente estudo, foram utilizados quatro pontos de checagem independentes, distribuídos de forma a representar adequadamente a área analisada.

Figura 15: Representação esquemática dos CPs com distribuição agrupada.

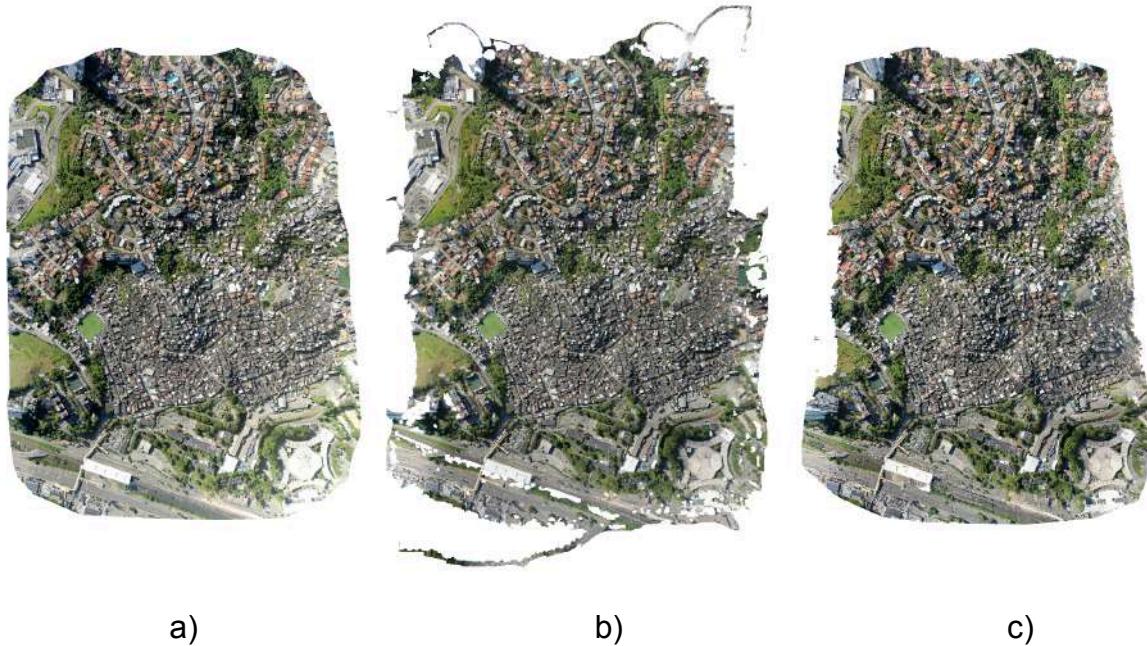


Fonte: Adaptado de Santos et al. (2016)

4. RESULTADOS E ANÁLISES DOS PRODUTOS

Nas subseções seguintes, apresentam-se os principais resultados obtidos ao longo do experimento. A Seção 4.1 descreve o controle de qualidade posicional, conduzido segundo a PEC-PCD e executado no software GeoPEC. Na Seção 4.2, é realizada uma análise comparativa dos ortomosaicos processados nos três ambientes fotogramétricos avaliados: Drone2Map, Metashape e WebODM (FIGURA 16). A Seção 4.3 apresenta a comparação visual entre os produtos gerados, destacando diferenças qualitativas relevantes. Por fim, a Seção 4.4 trata da publicação dos resultados na plataforma OpenAerialMap (OAM), visando sua disponibilização pública e reproduzibilidade.

Figura 16: Ortomosaicos (a) Drone2map (b) Metashape (c) WEBODM



Fonte: Autor (2025).

4.1 ANÁLISE POSICIONAL (GEOPEC)

A avaliação posicional foi realizada no software GeoPEC, utilizando quatro pontos de checagem obtidos em campo com receptor GNSS Trimble RTX, permitindo analisar de forma comparativa a ortofoto: Drone2map, Agisoft Metashape e WEBODM.

A análise individual das discrepâncias planimétricas, a partir do ortomosaico realizado no Drone2Map, apresentou comportamento estatístico compatível com distribuição normal, condição essencial para a aplicação dos testes subsequentes. Em termos de precisão, o RMS planimétrico 2D atingiu 0,214 m, atendendo ao limite estabelecido para a Classe B na escala 1:1000. Os erros posicionais permaneceram reduzidos, variando de 0,0528 m a 0,3903 m (TABELA 2), sem identificação de outliers.

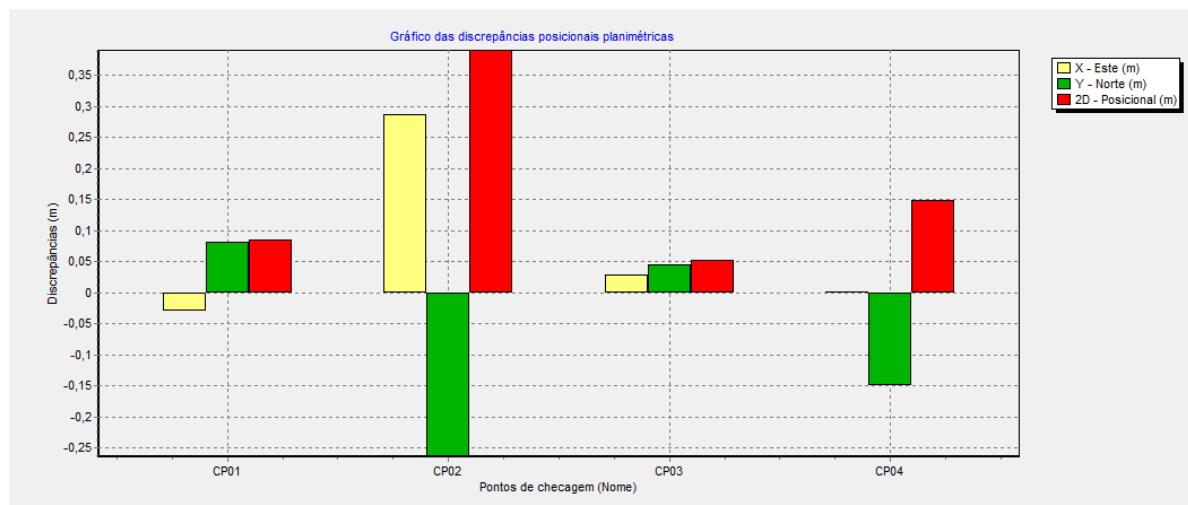
Tabela 2 - Resultados GEOPEC - Ortomosaico Drone2Map

Ponto	Discrepância E (m)	Discrepância N (m)	Erro Posicional 2D (m)	Azimute (°)
CP01	-0,0287	0,0808	0,0857	340,4451
CP02	0,2876	-0,2639	0,3903	132,5393
CP03	0,0288	0,0443	0,0528	33,0284
CP04	0,0019	-0,1487	0,1487	179,2679

Fonte: Autor (2025).

Assim, consolidando-se os resultados estatísticos de normalidade, ausência de tendência e RMS dentro dos limites normativos, como observado na FIGURA 17. Logo, conclui-se que a ortofoto gerada no Drone2Map é acurado para a Classe B na escala 1:1000.

Figura 17: Gráfico de Discrepância Posicional - Drone2map



Fonte: Autor (2025).

A ortofoto realizada no Agisoft Metashape apresentou um comportamento distinto em relação ao Drone2Map, principalmente devido à magnitude e distribuição espacial das discrepâncias observadas nos pontos de checagem. Os resultados obtidos no GeoPEC (TABELA 3) indicaram discrepâncias variando entre valores e desvios moderados, com destaque para o ponto CP02, cujo erro posicional 2D foi de

0,22 m. Os demais pontos (CP01, CP03 e CP04) exibiram discrepâncias inferiores a 0,006 m.

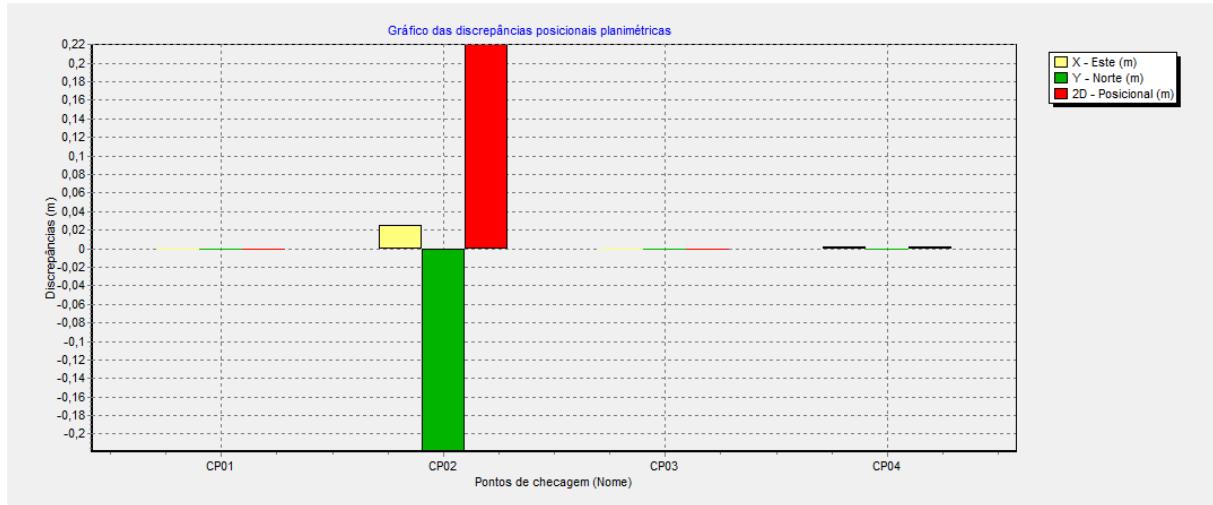
A distribuição desses erros é sintetizada no gráfico de discrepâncias planimétricas (FIGURA 18), no qual se observa que somente o CP02 concentrou um desvio mais expressivo, enquanto os demais permaneceram próximos ao eixo nulo, indicando estabilidade geométrica do modelo. O valor de RMS planimétrico (0,1102 m) enquadra o produto na Classe A para a escala 1:1000.

Tabela 3 - Resultados GEOPEC - Ortomosaico Metashape

Ponto	Discrepância E (m)	Discrepância N (m)	Erro Posicional 2D (m)	Azimute (°)
CP01	0	0,0378	0,0378	0
CP02	0,0149	0,005	0,0157	71,4498
CP03	0,3553	0,3537	0,5013	45,1293
CP04	-0,0269	-0,1568	0,1591	189,7347

Fonte: Autor (2025).

Figura 18: Gráfico de Discrepância Posicional - Agisoft Metashape



Fonte: Autor (2025).

Na ortofoto gerada pelo WebODM, os resultados evidenciaram discrepâncias significativamente superiores às obtidas nos demais softwares avaliados. O ponto CP02 apresentou uma discrepância 2D de 0,5392 m, refletindo

desvios de +0,428 m no eixo Norte e +0,114 m no eixo Leste (TABELA 4), valor também destacado no gráfico de discrepâncias (FIGURA 19). Os demais pontos (CP01, CP03 e CP04) apresentaram comportamento heterogêneo entre as feições analisadas. A estatística global indicou RMS planimétrico de 0,5133 m, classificando o produto na Classe D para a escala 1:1000, limite máximo permitido pelo PEC-PCD para produtos de menor rigor métrico.

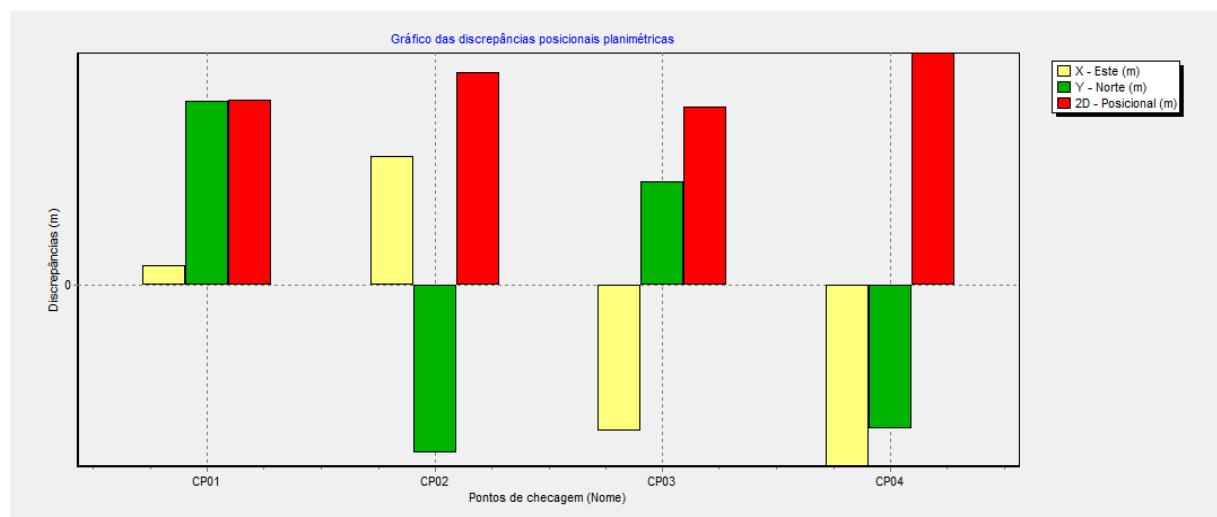
Tabela 4 - Resultados GEOPEC - Ortomosaico WEBODM

Ponto	Discrepância E (m)	Discrepância N (m)	Erro Posicional 2D (m)	Azimute (°)
CP01	0,048	0,468	0,4705	5,856
CP02	0,328	-0,428	0,5392	142,5351
CP03	-0,37	0,262	0,4534	305,3026
CP04	-0,462	-0,367	0,59	231,5373

Fonte: Autor (2025).

Assim, seu desempenho métrico mostrou-se inferior ao obtido no Drone2Map e no Metashape.

Figura 19: Gráfico de Discrepância Posicional - WEBODM



Fonte: Autor (2025).

4.2 COMPARAÇÃO TÉCNICA DOS ORTOMOSAICOS

Os principais resultados obtidos nos três ambientes de processamento estão organizados no Quadro 1, possibilitando uma análise comparativa direta sobre o desempenho de cada software na geração dos produtos fotogramétricos. Essa comparação inclui métricas fundamentais, como área coberta, resolução espacial (GSD), tempo de processamento, densidade de pontos reconstruídos, erro médio de reprojeção e precisão GPS (RMS), permitindo avaliar a robustez e a eficiência de cada.

Quadro 1 - Resultado dos produtos fotogramétricos gerados em cada software

Critério	Drone2Map	Metashape	WebODM
Área coberta	1,29 km ²	1,78 km ²	0,484 km ²
Resolução do ortomosaico (GSD)	5,90 cm/px	5,74 cm/px	4,8 cm/px
Tempo total de processamento	1d 07h 09m	3d 21h	14h 48m
Pontos reconstruído (densa)	não informa no relatório	833.588,785	99.990.399
Erro médio de reprojeção	0,51 px	1,72 px	0,17 px
Precisão GPS (RMS)	(X: 54 cm / Y: 58 cm / Z: 64 cm)	(X: 23,4 cm / Y: 23,5 cm / Z: 39,4 cm)	(X: 60,6 cm / Y: 45,9 cm / Z: 72,8 cm)

Fonte: Autor (2025).

Em relação à área coberta, o Metashape apresentou o maior valor (1,78 km²), enquanto o Drone2Map processou 1,29 km² e o WebODM 0,484 km². Essa diferença está relacionada ao modo como cada software trata imagens periféricas ou com menor sobreposição, sendo o Metashape mais permissivo e o WebODM mais restritivo na delimitação final da área útil. Ainda assim, todas as plataformas contemplaram integralmente a área de interesse.

A resolução espacial do ortomosaico (GSD) mostrou valores semelhantes entre os três ambientes, com o WebODM apresentando o melhor nível de detalhe (4,8 cm/px), seguido de Metashape (5,74 cm/px) e Drone2Map (5,90 cm/px). Embora a diferença seja pequena, ela indica melhor nível de detalhe no WebODM.

No critério de tempo de processamento, observam-se contrastes claros: o Metashape foi significativamente mais lento (3d 21h), reflexo de sua maior densidade de reconstrução; o Drone2Map apresentou desempenho intermediário (1d 07h 09m); e o WebODM se destacou pela agilidade, finalizando o processamento em 14h 48m. Essa rapidez torna o WebODM especialmente vantajoso em contextos operacionais que exigem resposta rápida, como eventos de deslizamento monitorados pela Defesa Civil.

A reconstrução da nuvem densa reforça essa diferença: o Metashape gerou cerca de 833 milhões de pontos, representando maior detalhamento geométrico; o WebODM produziu aproximadamente 99 milhões; e o Drone2Map não apresentou essa métrica no relatório. O Metashape, portanto, apresenta maior potencial para aplicações que demandam modelagens tridimensionais mais completas, ainda que à custa de maior tempo computacional.

O erro médio de reprojeção indica a consistência geométrica interna dos modelos fotogramétricos, sendo expresso em pixels (px), unidade correspondente ao menor elemento discreto que compõe uma imagem digital. Nesse contexto, o WebODM apresentou o menor erro médio de reprojeção (0,17 px), sugerindo excelente alinhamento interno; o Drone2Map registrou 0,51 px; e o Metashape 1,72 px. Já a precisão GPS (RMS) evidenciou melhor desempenho do Drone2Map, com menores desvios nas componentes X, Y e Z, enquanto o WebODM apresentou os maiores valores, principalmente na componente altimétrica.

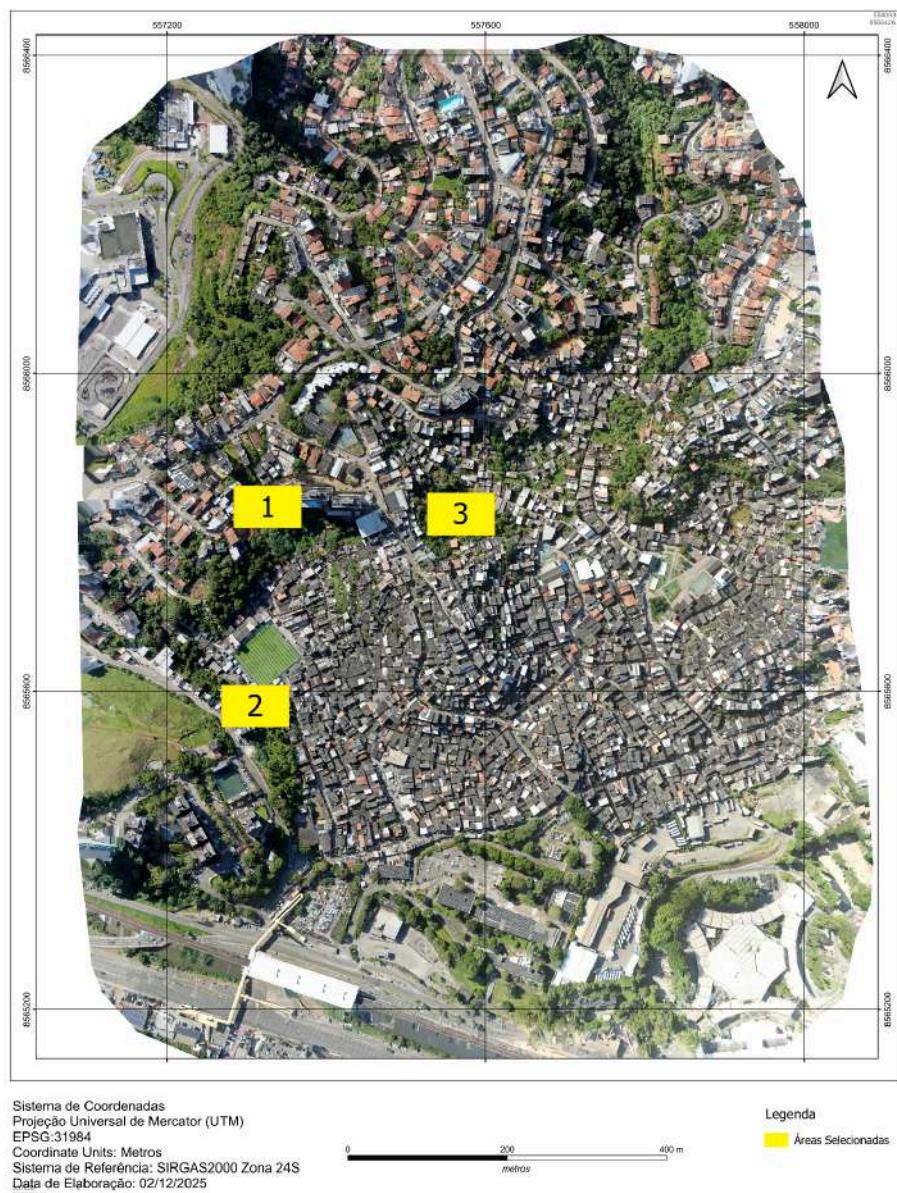
De modo geral, os resultados demonstram que cada software possui pontos fortes específicos: o Metashape destaca-se pelo detalhamento geométrico e pela elevada densidade da nuvem densa; o Drone2Map apresenta melhor acurácia posicional; e o WebODM combina boa resolução, baixo erro de reprojeção e maior rapidez no processamento. Assim, a escolha da plataforma ideal depende do objetivo da aplicação. No contexto deste estudo, os três produtos mostraram-se adequados para o mapeamento de encostas, permitindo análises complementares e contribuindo para subsidiar ações de prevenção e monitoramento por parte da

Defesa Civil.

4.3 COMPARAÇÃO VISUAL DOS ORTOMOSAICOS

Para complementar a avaliação quantitativa dos produtos fotogramétricos, foi realizada uma análise comparativa visual entre os ortomosaicos gerados nos três softwares utilizados neste estudo. A FIGURA 20 apresenta as áreas selecionadas para a análise.

Figura 20: Áreas selecionadas para comparação visual entre os ortomosaicos gerados nos três softwares.



Fonte: Autor (2025)

Na Figura 21, são apresentados os recortes correspondentes às três células selecionadas.

Figura 21 - Comparação visual dos ortomosaicos: a) Drone2map; b)WebODM e c)Metashape.



Fonte: Autor (2025).

De modo geral, observou-se que o Drone2Map apresentou o melhor desempenho visual, principalmente na preservação de nitidez e na redução de artefatos ao longo de estruturas regulares, como telhados, muros e pavimentação. Nos recortes avaliados, o ortomosaico desse software apresentou menor serrilhamento nas bordas dos telhados e das edificações, resultando em uma representação mais limpa e contínua das superfícies.

O WebODM apresentou resultado intermediário, com nitidez razoável e serrilhamento visualmente menos pronunciado que o Metashape, mas ainda perceptível em áreas de maior contraste, como limites de telhados e extremidades de paredes. Embora não alcance o mesmo nível de suavidade observado no produto do Drone2Map, o WebODM demonstrou consistência visual satisfatória, especialmente considerando seu tempo reduzido de processamento.

Já o Metashape, apesar de gerar a nuvem densa mais completa entre os três softwares, apresentou maior presença de serrilhamento e aliasing, principalmente em superfícies inclinadas e nos limites de telhados. Além disso, um aspecto notável foi a representação das fiações de alta tensão presentes na área de estudo: tanto o Metashape quanto o WebODM evidenciaram os cabos como linhas brancas finas e contínuas no ortomosaico, enquanto no Drone2Map esses elementos praticamente não foram reconstruídos, aparecendo de forma difusa ou inexistente. Esse comportamento indica diferenças nos algoritmos de reconstrução e interpolação empregados por cada software, especialmente no tratamento de objetos delgados e suspensos.

Portanto, a análise qualitativa evidencia que, embora todos os softwares gerem ortomosaicos adequados ao mapeamento urbano, existem diferenças visuais perceptíveis que podem influenciar a escolha da ferramenta conforme o objetivo do trabalho. No contexto deste estudo, o Drone2Map apresentou melhor resultado visual geral, seguido do WebODM, enquanto o Metashape mostrou maior detalhamento na nuvem densa, porém com maior presença de artefatos visuais no produto final.

4.4. MAPEAMENTO DE ENCOSTAS E DESLIZAMENTOS COM RPA

Compreender os riscos associados aos deslizamentos de terra significa olhar tanto para os eventos já ocorridos quanto para as condições que podem desencadear novos episódios no futuro. Essa compreensão está longe de ser trivial, sobretudo em áreas extensas, íngremes, de difícil acesso ou marcadas por ocupação irregular, onde o trabalho de campo tradicional tende a ser lento e, muitas vezes, insuficiente. Nesse contexto, o uso de RPAs torna-se um aliado importante: além de facilitar o acesso a áreas críticas, esses equipamentos permitem identificar com precisão a localização dos deslizamentos, sua extensão e a forma como a encosta vem se modificando ao longo do tempo.

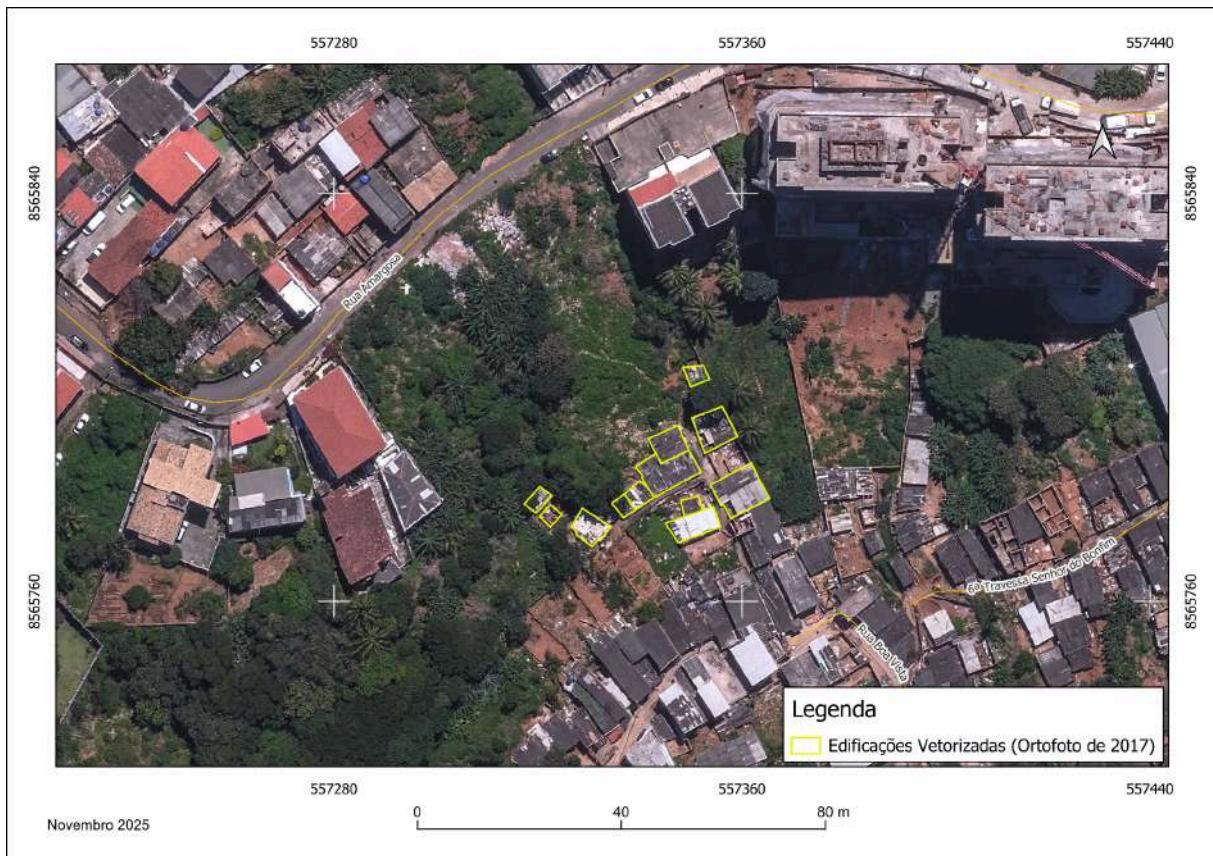
A possibilidade de gerar e comparar ortomosaicos em diferentes datas é particularmente útil para acompanhar a evolução da instabilidade, seja na forma de deslocamentos progressivos, tentativas de estabilização ou de novas ocupações em trechos suscetíveis. Esse monitoramento ajuda a reconhecer sinais de alerta, como fissuras, deformações superficiais e deslocamento de edificações, permitindo uma leitura mais qualificada da dinâmica da encosta. A fotogrametria com drones reúne rapidez, boa resolução espacial e custos relativamente baixos, o que a torna uma alternativa bastante atraente para estudos em espaços urbanos complexos. Nesse sentido, Chen, Maurer e Gong (2025) destacam que RPAs têm se consolidado como uma das principais ferramentas para investigação e monitoramento de escorregamentos, justamente por viabilizarem produtos como ortofotos, modelos digitais de terreno e modelos tridimensionais a partir de técnicas de Structure from Motion, com resolução suficiente para captar mudanças sutis na morfologia da superfície.

De modo complementar, Zaragozí et al. (2025) chamam atenção para a importância de se estudar também os deslizamentos de menor porte, que muitas vezes passam despercebidos em levantamentos regionais, mas podem ter impactos relevantes em áreas urbanas.

Ao integrar dados de LiDAR e fotogrametria, os autores mostram como é possível estimar volumes deslocados, distinguir zonas de erosão e deposição e acompanhar, ao longo dos anos, a atividade residual da encosta. Esse tipo de abordagem se ajusta bem à realidade de Saramandaia, onde a presença de

ocupações irregulares em taludes já instáveis torna a leitura temporal dos processos algo fundamental.

Figura 22 - Edificações identificadas na encosta - base cartográfica PMS (2017).

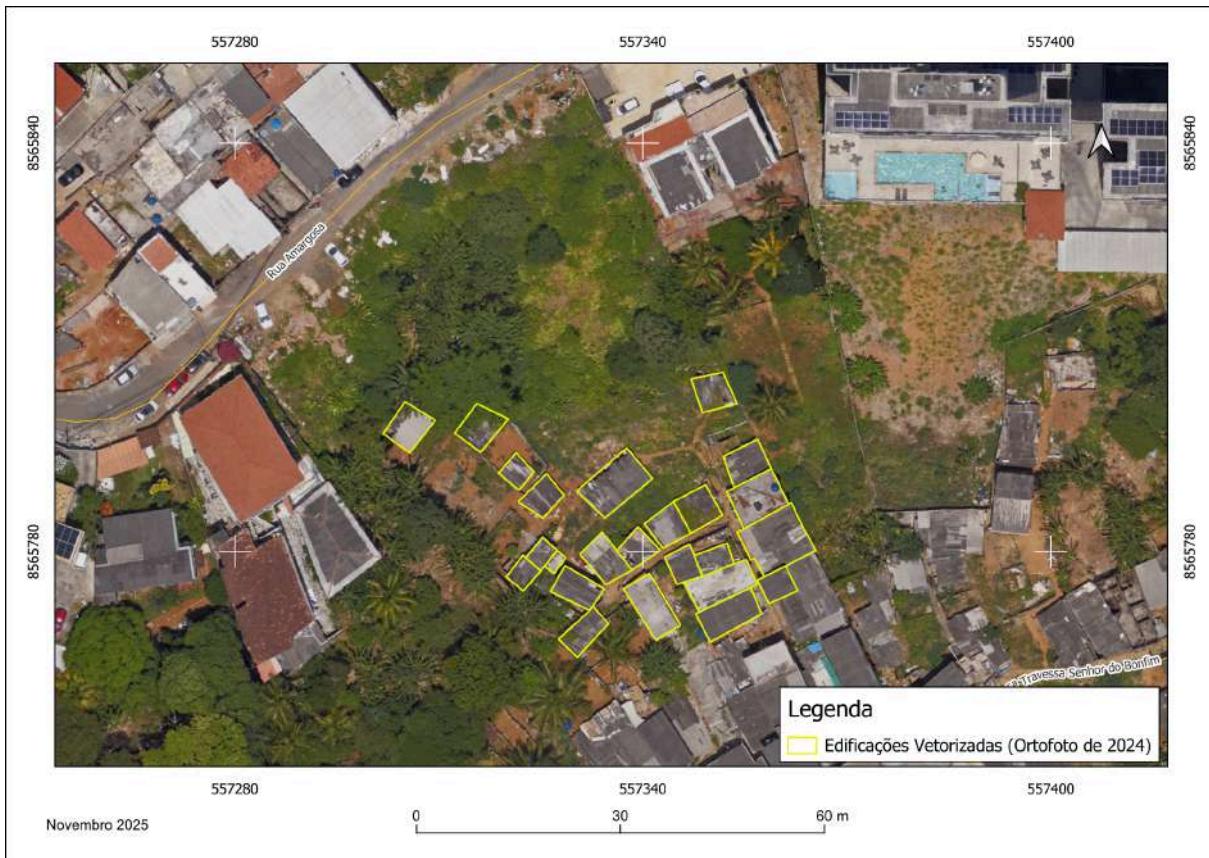


Fonte: Autor (2025).

Esse primeiro retrato já aponta para um quadro de vulnerabilidade: edificações assentadas em encosta íngreme, sem evidência de obras estruturais de contenção ou de sistemas adequados de drenagem, configurando um ambiente propício à deflagração de movimentos de massa.

A vetorização da ortofoto de 2024 mostra que essa vulnerabilidade se intensificou. O número de edificações passa de 12 para 24 estruturas, praticamente dobrando a ocupação na área de estudo. Esses resultados estão apresentados na Figura 23, que explicita o adensamento das moradias sobre o talude.

Figura 23 - Edificações identificadas na encosta - base cartográfica PMS (2024).



Fonte: Autor (2025).

Esse crescimento é particularmente preocupante porque ocorre após a ocorrência de deslizamentos na região, o que indica que a dinâmica de ocupação não foi acompanhada por mecanismos efetivos de controle urbanístico ou de restrição ao uso do solo em áreas de risco. A sobreposição das ortofotos de 2017 e 2024 evidencia não só o aumento no número de edificações, mas também alterações na disposição espacial dessas construções, muitas delas erguidas sobre patamares artificiais, cortes de talude ou setores onde já se observavam indícios prévios de instabilidade.

A ortofoto gerada a partir do levantamento aerofotogramétrico com o RPA acrescenta um novo capítulo a essa história. Ao analisar a imagem mais recente, observa-se que as 24 edificações mapeadas em 2024 já não estão presentes no setor crítico da encosta, indicando sua provável destruição em decorrência de movimentos de massa recentes. O contraste entre a situação registrada na ortofoto

de 2024 e o produto fotogramétrico atual revela um desaparecimento abrupto das estruturas, sugerindo que o processo de instabilidade evoluiu de forma rápida. Esta condição é ilustrada na Figura 24.

Figura 24 - Área atingida pelo deslizamento apresentada na ortofoto da RPA.



Fonte: Autor (2025).

Essa dinâmica dialoga diretamente com o que Chen et al. (2025) descrevem em estudos realizados em encostas urbanizadas: a presença de moradias em setores de alta declividade, associada à ausência de drenagem adequada, cortes improvisados e sobrecarga do talude, tende a intensificar tensões internas no maciço e a favorecer a reativação de escorregamentos. De forma semelhante, Zaragozí et al. (2025) documentam casos em que movimentos de massa são suficientemente intensos para remover por completo as estruturas previamente construídas, sobretudo em contextos de urbanização pouco planejada.

Esse quadro também é coerente com a leitura de Araújo (2023) sobre a expansão urbana em encostas de Salvador, ao apontar que a ocupação de terrenos com essas características, em geral, ocorre sem o devido planejamento ou

tratamento técnico, contribuindo para o aumento da susceptibilidade a deslizamentos e desabamentos de construções. Santos (2011) reforça essa perspectiva ao destacar que, na capital baiana, a urbanização sobre morros e colinas historicamente se deu de forma desigual, com populações de menor renda sendo empurradas para áreas frágeis, carentes de infraestrutura e sujeitas a movimentos de massa.

Os resultados obtidos em Saramandaia encaixam-se nesse padrão, ao revelar um ciclo em que, primeiro, a encosta é ocupada de maneira irregular; em seguida, a instabilidade se intensifica; e, por fim, o próprio processo de deslizamento impõe limites físicos à permanência das moradias, levando à sua destruição.

Para além das ortofotos, a nuvem de pontos densa gerada no processamento fotogramétrico acrescenta uma camada importante de leitura sobre a área. Esse produto tridimensional permite visualizar, em conjunto, a cicatriz do deslizamento, o acúmulo de material na base do talude, a organização das drenagens e a relação com as construções vizinhas. A Figura 25 apresenta essa nuvem de pontos, em que se destacam a geometria da ruptura e a redistribuição do material mobilizado.

Figura 25 - Nuvem de pontos densa da encosta de Saramandaia



Fonte: Autor (2025).

Para fins de diagnóstico e planejamento de intervenções, esse tipo de representação se mostra particularmente útil. Como apontam Chen et al. (2025), modelos tridimensionais derivados de fotogrametria com RPAs permitem identificar feições associadas à instabilidade que não são facilmente percebidas em planta, além de subsidiar estimativas de profundidade e extensão dos movimentos de massa. Zaragozí et al. (2025), por sua vez, ressaltam que a comparação multitemporal de nuvens de pontos é uma estratégia eficiente para compreender a evolução de encostas e quantificar mudanças volumétricas ao longo do tempo.

Ainda que algumas áreas apresentem lacunas ou ruídos - sobretudo em trechos densamente vegetados, onde a copa das árvores dificulta a reconstrução do

terreno tais limitações não reduzem a utilidade do modelo. O nível de detalhe alcançado é suficiente para apoiar decisões técnicas, delimitar zonas de risco, identificar edificações potencialmente ameaçadas e orientar ações emergenciais por parte da Defesa Civil.

Além disso, os produtos gerados ortofoto atualizada, nuvem de pontos tridimensional e articulação cartográfica 1:250, representam insumos estratégicos para o monitoramento municipal. A subdivisão da área em folhas padronizadas permite que o município estime com precisão o tempo necessário para cada missão de voo, o número de baterias que precisará, a área coberta e o volume de dados a serem processados. Na prática, isso possibilita que a CODESAL estabeleça rotinas de sobrevoo antes e depois de eventos críticos de chuva, acelerando a identificação de pontos de intervenção, moradias vulneráveis e trechos sujeitos a reativação de escorregamentos. Essa organização técnica fortalece a capacidade de resposta e melhora o planejamento operacional em situações de emergência.

Outro aspecto relevante refere-se às dificuldades estruturais de conter a expansão informal em áreas de risco. Em Salvador, a ocupação de encostas ocorre de forma rápida e muitas vezes sem controle, dificultando o acompanhamento contínuo por equipes de fiscalização. Produtos fotogramétricos de alta resolução permitem monitorar novas construções quase em tempo real, detectar alterações progressivas no relevo e evidenciar a pressão urbana sobre setores instáveis. Assim, o aerolevantamento contribui diretamente para subsidiar políticas de prevenção, remoção preventiva e gestão de risco, sobretudo em contextos onde o avanço da ocupação supera a capacidade de fiscalização presencial.

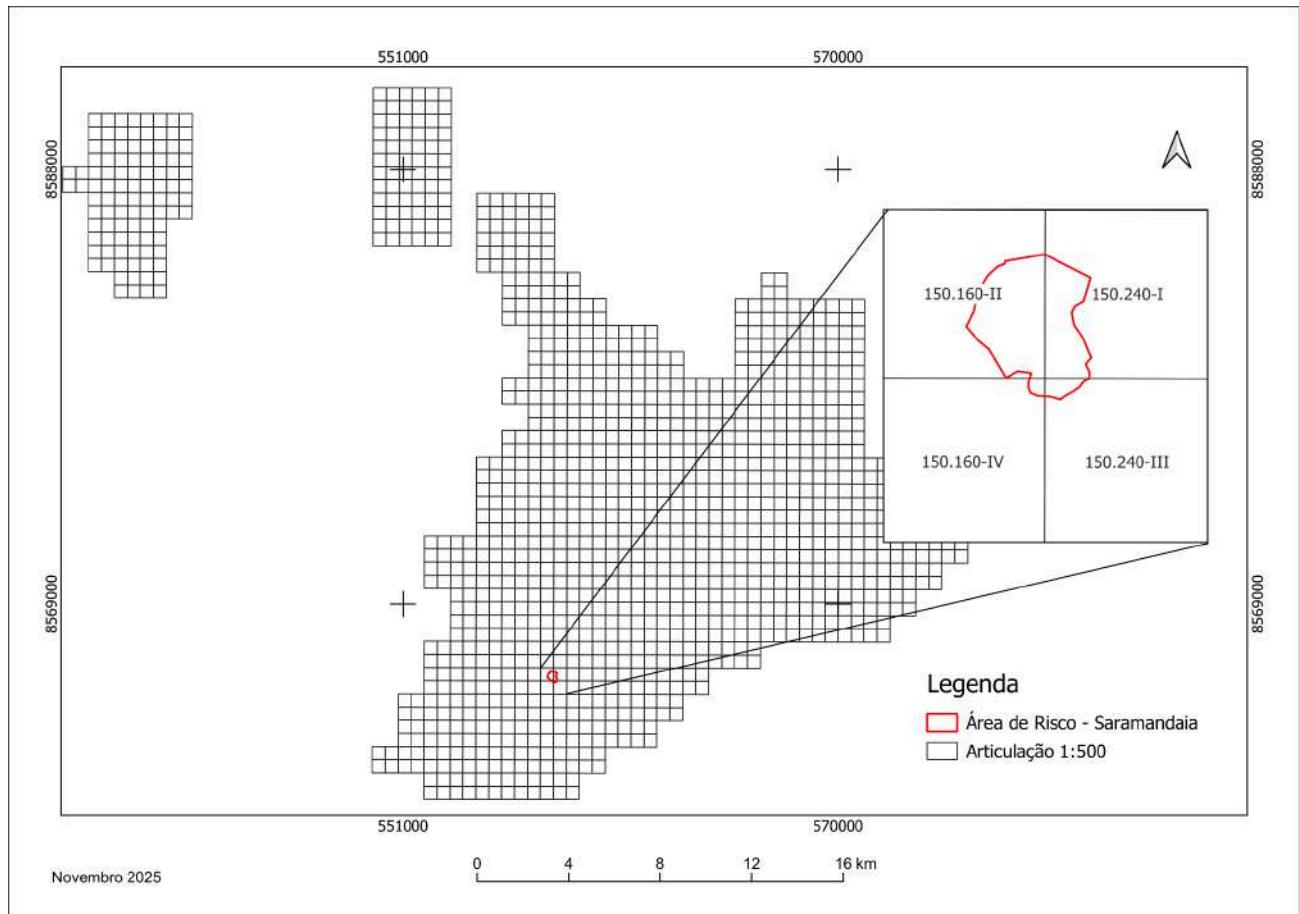
Em síntese, a experiência em Saramandaia confirma o que a literatura recente vem apontando: o uso de RPAs, ortofotos de alta resolução, modelos digitais do terreno e nuvens de pontos tridimensionais não apenas melhora a capacidade de diagnóstico de encostas urbanas, como também oferece subsídios concretos para o planejamento urbano, a gestão de risco e a formulação de políticas públicas voltadas à redução de desastres em áreas sujeitas a movimentos gravitacionais de massa.

4.5. PUBLICAÇÃO NA PLATAFORMA OPEN AERIAL MAP

A etapa final consistiu no tratamento e publicação dos produtos cartográficos na plataforma Open Aerial Map (OAM), seguindo um fluxo estruturado de organização espacial baseado na articulação cartográfica oficial. Inicialmente, a área de estudo foi identificada nas folhas 150.160 e 150.240 da articulação 1:1000. A partir dessa base, procedeu-se à subdivisão em escala 1:500, resultando nas quadrículas 150.160-I, II, III e IV e 150.240-I, II, III e IV, conforme ilustrado na FIGURA 26. Cada uma dessas subdivisões gerou, posteriormente, quatro quadrículas menores, para organizar o plano de voo do drone e estruturar os recortes da ortofoto, originando na escala 1:250, representada na FIGURA 27, com folhas 150.160-II-B, 150.160-II-D, 150.160-IV-B, 150.240-I-A, 150.240-I-C e 150.240-III-A.

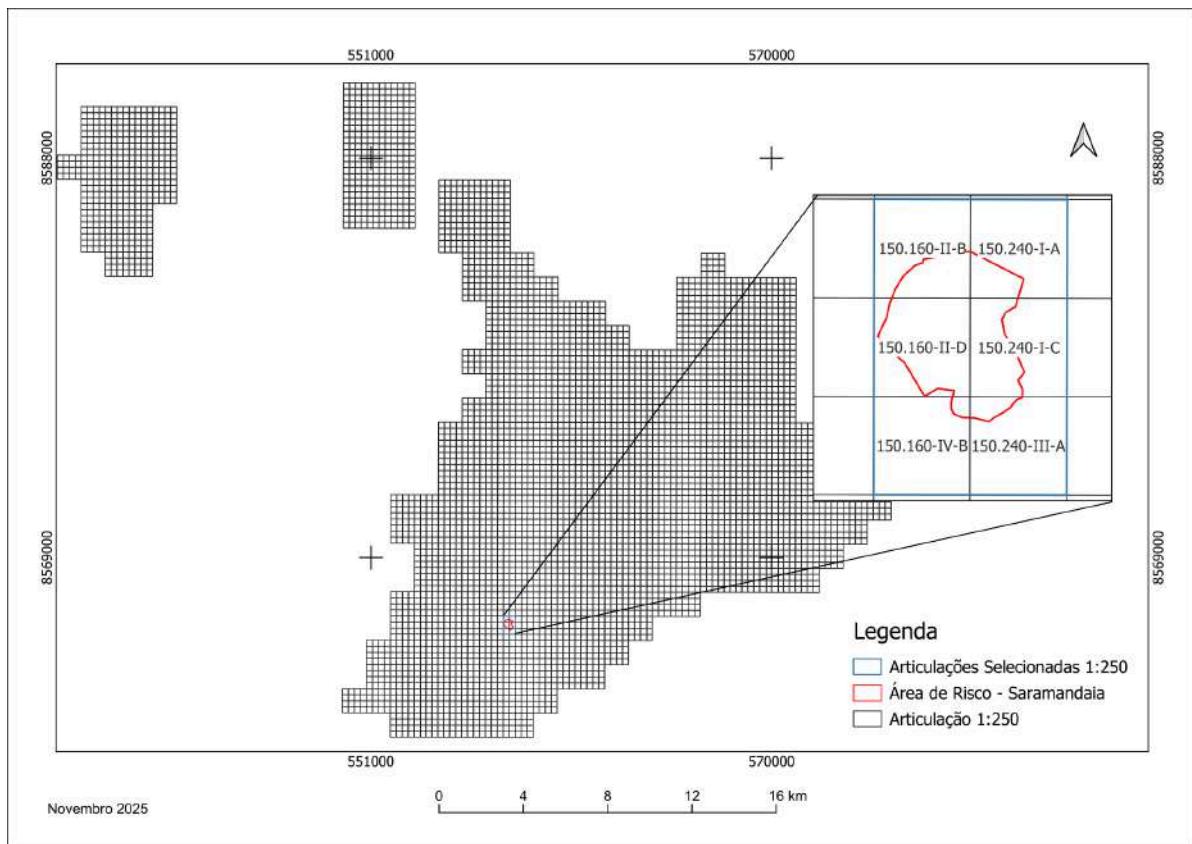
Após o processamento da ortofoto, o produto final foi inserido na plataforma OAM, com o devido preenchimento de metadados essenciais (localização, data, descrição do projeto). O ambiente de publicação, demonstrado na FIGURA 28, assegura a disponibilização aberta dos produtos, promovendo a democratização do acesso aos dados geoespaciais e fortalecendo iniciativas de mapeamento colaborativo em áreas urbanas de maior vulnerabilidade.

Figura 26 - Quadriculamento em escala 1:500 da área de estudo.



Fonte: Autor (2025).

Figura 27 - Quadriculamento em escala 1:250 da área de estudo.



Fonte: Autor (2025).

Figura 28 - Ilustração da publicação na plataforma (OAM)



Fonte: Autor (2025).

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES FUTURAS

Os resultados obtidos confirmam que a metodologia proposta é viável para a produção de produtos cartográficos atualizados em áreas de encosta urbana. A integração entre estruturação cartográfica, uso de RPA, coleta de GCPs e avaliação posicional pelo PEC-PCD demonstrou eficiência técnica mesmo em ambiente de alta complexidade topográfica. O desempenho dos softwares evidenciou particularidades relevantes: o Drone2Map apresentou maior acurácia posicional, o Metashape forneceu o modelo denso mais detalhado e o WebODM se destacou pela rapidez e pelo menor custo operacional. Esses resultados reforçam que é possível produzir dados confiáveis mesmo com recursos computacionais limitados, aspecto fundamental para a rotina de órgãos públicos como a Defesa Civil.

A publicação dos produtos fotogramétricos na plataforma OpenAerialMap ampliou o alcance das informações geradas e fortaleceu a política de dados abertos, permitindo que diferentes setores governamentais e comunitários utilizem a ortofoto como instrumento de apoio ao planejamento e à resposta a desastres. A precisão alcançada pelos produtos, valida a aplicabilidade da metodologia para diagnósticos territoriais, acompanhamento de intervenções e suporte a ações emergenciais após chuvas intensas.

Assim, o estudo confirma que o uso de RPA, quando aliado a protocolos de subdivisão cartográfica e processamento criterioso, constitui uma alternativa acessível e tecnicamente consistente para áreas urbanas periféricas.

Com o objetivo de aprimorar a metodologia e ampliar o potencial de uso institucional, destacam-se as seguintes recomendações para trabalhos futuros:

- Avaliação de diferentes alturas de voo: testar alturas reduzidas (50 m ou 70 m) para investigar ganhos de resolução e possíveis melhorias nos indicadores de acurácia posicional.
- Aumentar a densidade da nuvem de pontos, reduzir artefatos e melhorar a nitidez do ortomosaico, especialmente em encostas com forte variação altimétrica.
- Uso de sensores avançados: explorar câmeras multiespectrais ou sistemas LiDAR embarcados para identificar feições críticas em taludes e aprimorar o monitoramento geotécnico.
- Integração com sistemas corporativos da Defesa Civil: desenvolver fluxos de atualização contínua, permitindo que novos ortomosaicos sejam incorporados

diretamente ao banco de dados municipal, fortalecendo ações preventivas e respostas rápidas pós-evento.

Dessa forma, o estudo demonstra que o emprego de RPA, aliado à metodologia proposta, oferece uma ferramenta técnica relevante, de custo acessível e replicável, contribuindo para o aprimoramento das estratégias de gestão de risco e para a modernização da infraestrutura geoespacial da Defesa Civil de Salvador

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, Ana Clara Oliveira de. Análise das alterações da cobertura da terra na área da antiga Jazida Santa Bárbara e seu entorno. 2023. 122 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana) – Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2023.

BARROS, Alex Felipe Silva. Análise de áreas propensas ao surgimento de imóveis irregulares no município de Maceió/AL: estudo de caso bairro Cruz das Almas. 2019. 44 f. Monografia (Graduação em Engenharia de Agrimensura) – Universidade Federal de Alagoas, Centro de Ciências Agrárias, Rio Largo, 2019.

BASE AEROFOTO. A história da aerofotogrametria no Brasil. Disponível em: <https://www.baseaerofoto.com.br/a-historia-da-aerofotogrametria-no-brasil-blog/>. Acesso em: 2 jan. 2026.

BRASIL. Exército Brasileiro. Diretoria de Serviço Geográfico. Especificação Técnica para Controle de Qualidade de Dados Geoespaciais – ET-CQDG. 1. ed. Brasília: DSG, 2016.

BRITO, Evellyn Karoline da Silva. Análise da utilização de Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPA) no mercado aeronáutico. 2024. 29 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso Superior de Tecnologia em Manutenção de Aeronaves) – Faculdade de Tecnologia de São José dos Campos, FATEC Professor Jessen Vidal, São José dos Campos, 2024.

CARVALHO, Alessandro Vinicius Carvalho. Controle de estruturas de contenção de encostas com a utilização de veículo aéreo não tripulado (VANT/Drone). Curitiba, 2019.

CHEN, B.; MAURER, J.; GONG, W. Applications of UAV in landslide research: a review. *Landslides*, v. 22, p. 3029–3048, 2025. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10346-025-02547-2>

DEBIASI, P.; FLORÊNCIO, S. Fotogrametria digital e a produção de ortofoto carta. In: SALÃO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA. Porto Alegre: UFRGS, 2004.

ELLIS, Nick. Resenha – Mavic 2 Zoom, um olhar discreto nas alturas. Meio Bit, 28 nov. 2018. Disponível em: <https://meiobit.com/393672/resenha-mavic-2-zoom-da-dji/>. Acesso em: 14 jul. 2025.

EOCIÊNCIAS. Em 2010, Brasil tinha 8,3 milhões de pessoas morando em áreas com risco de desastres naturais. IBGE, 2018. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br>. Acesso em: 9 maio 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). População em áreas de risco no Brasil. Rio de Janeiro: IBGE, 2018. 91 p.

JORZ, Veronika. Open Aerial Map, Drones and Archaeology: the implications of using drones to contribute and share aerial data on an open data repository. 2019. Dissertação (Master of Arts em Geography) – University of Waterloo, Waterloo, 2019.

LIMA, D. A. Modelagem tridimensional para análise da estabilidade de taludes. 2023. 87 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2023.

LINS, Breno Omena Lamenha. A utilização do VANT (drone) como alternativa para regularização urbana. 2019. 54 f. Monografia (Graduação em Engenharia de Agrimensura) – Universidade Federal de Alagoas, Centro de Ciências Agrárias, Rio Largo, 2019.

MAPPA. O que são pontos de controle e quando usá-los? 2025. Disponível em: <https://mappa.ag/blog/pontos-de-controle-o-que-sao/>. Acesso em: 14 jul. 2025.

METRO1. Deslizamento de terra soterra casas em Saramandaia. Salvador, 24 jul. 2025. Disponível em: <https://www.metro1.com.br/noticias/cidade/158263>. Acesso em: 25 jul. 2025.

NEVES, Antonio Alexsandro. Utilização da aerofotogrametria como base cartográfica para mapeamento e planejamento urbano em cidades de pequeno porte. 2021. 82 f. Monografia (Graduação em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, 2021.

PATÉZ, Daniel Climaco. Mapeamento de risco associado a escorregamentos e inundações a partir de levantamento aerofotogramétrico: estudo de caso Ecoporanga/ES. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Agrimensura e Cartográfica) – Universidade Federal de Uberlândia, Monte Carmelo, 2023.

RIBEIRO, Alesandro Gurjão; BIANCHEZZI, Clarice; SANTOS, Adriano Márcio dos. Criação de modelos 3D em sítios arqueológicos usando veículos aéreos não tripulados. Revista Tarairiú, Campina Grande, v. 1, n. 22, 2023.

RODRIGUES, L. I. de C.; SILVA, R. M. N. Uso do VANT no aterro de resíduos sólidos do Jangurussu – Fortaleza/CE – para análise de risco potencial à erosão. 2018. 60 f. Monografia (Graduação em Geologia) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018.

SALVADOR (Município). Lei nº 9.278, de 14 de setembro de 2017. Dispõe sobre a delimitação dos bairros do Município do Salvador. Diário Oficial do Município, Salvador, 15 set. 2017.

SALVADOR (Município). Coordenadoria de Defesa Civil de Salvador – CODESAL. Relatório Anual 2024. Salvador: CODESAL, 2025.

SANTOS, M. A. et al. Proposta de metodologia para avaliação da acurácia posicional em dados espaciais. *Revista Brasileira de Cartografia*, v. 68, n. 5, p. 961–986, 2016.

SANTOS, M. C. Urbanização e riscos ambientais na cidade de Salvador – Bahia. *Revista Territorium*, v. 18, p. 193–200, 2011.

SILVA, Cristiane Neres. Diagnóstico ambiental associado às áreas de pedreiras abandonadas na cidade do Salvador-BA com ênfase na estabilidade de taludes. 2005. 123 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2005.

SOUSA, José Cleilton do Nascimento. Desenvolvimento de drone autônomo multirotor de baixo custo para aplicações de entrega. 2024. 79 f. Monografia (Graduação em Engenharia de Computação) – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, Redenção, 2024.

TOMMASELLI, A. M. G. Fotogrametria básica. 2009. Disponível em: <http://www.faed.udesc.br>. Acesso em: mar. 2024.

VIDAL, A. M. F. Extração e avaliação de geo-informação pelo uso de imagens adquiridas por veículos aéreos não tripulados. 2013. 59 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Geográfica) – Universidade do Porto, Porto, 2013.

ZARAGOZÍ, B. et al. A small landslide as a big lesson: drones and GIS for monitoring and teaching slope instability. *Geosciences*, v. 15, n. 375, p. 1–24, 2025.