MAPEAMENTO PLANIALTIMÉTRICO COM A UTILIZAÇÃO DE VEÍCULOS AÉREOS NÃO TRIPULADOS (VANTs) PARA O PLANEJAMENTO DE IMPLANTAÇÕES DE TECNOLOGIAS DE SANEAMENTO DESCENTRALIZADO

Guilherme Phelipe Mendes da Cruz[(1)]
Técnico Ambiental, graduando em Engenharia Civil pela UFPR.
Nicolas Emanuel da Silva Caires[(2)]
Graduando em Engenharia Civil pela UFPR.
Thamyris Mayara Miras[(3)]
Engenheira Ambiental, mestranda pela UFPR.
Fernando Augusto Silveira Armani[(4)]
Engenheiro Ambiental, mestre e doutor pela UFPR. Professor de magistério superior da UFPR.
Alexandre Bernardino Lopes[(5)]
Engenheiro Agrimensor, mestre e doutor pela USP. Professor de magistério superior da UFPR.

Endereço[(1)]: Rua Pau-Brasil, 1034, Apto 1 - Pontal do Sul - Pontal do Paraná - Paraná - CEP: 83255-000 - Brasil - Tel: +55 (41) 98452-0447 - e-mail: guilherme.phelipe@ufpr.br

RESUMO

O presente estudo demonstra a aplicação de geotecnologias, especificamente o uso de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs) e Sistemas de Informação Geográfica (SIG), como ferramentas de apoio ao planejamento e seleção de tecnologias de saneamento descentralizado possíveis de serem implantadas na Ilha de Eufrasina, Paranaguá–PR. Essa comunidade insular enfrenta desafios significativos para a implementação de infraestrutura sanitária convencional devido ao seu acesso complexo, realizado por via marítima, e relevo acidentado. As imagens aéreas da área (0,109985 km²) foram obtidas com um VANT DJI Air 2S, com plano de voo elaborado no *Map Pilot Pro*, e processadas no *software WebODM* para a geração de um ortomosaico, Modelo Digital de Superfície (MDS) e Modelo Digital de Terreno (MDT). Posteriormente, com os dados coletados, foram elaborados mapas temáticos (*e.g.*, curvas de nível, declividade) no *QGIS*. A análise das curvas de nível e do espaço disponível na área estudada permitiu a avaliação das condições locais e a consequente seleção de tecnologias de tratamento mais adequadas (como vermifiltros, biodigestores, jardins filtrantes, entre outras), considerando as particularidades de cada residência no setor analisado, incluindo viabilidade de perfuração do solo, declividade, espaço disponível e a proximidade entre edificações. Concluiu-se que os mapas planialtimétricos são uma ferramenta fundamental para o planejamento do saneamento em áreas de alta complexidade, como o local de estudo, otimizando a tomada de decisão ao detalhar a localização das edificações, as características do relevo e a disponibilidade de espaço.

PALAVRAS-CHAVE: Saneamento, Mapas planialtimétricos, Comunidades insulares

INTRODUÇÃO

O acesso universal ao saneamento básico é um dos pilares para a saúde pública e a sustentabilidade ambiental, conforme delineado nos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) das Nações Unidas, em particular o ODS 6 – Água Limpa e Saneamento (ONU, 2015). No Brasil, apesar dos avanços quanto à extensão de redes e tratamento dos efluentes, há comunidades isoladas que ainda carecem de serviços de saneamento básico devido às suas características de isolamento de grandes centros urbanos, topografia, inviabilidade técnica e econômica

(TONETTI *et al*., 2018). A Ilha de Eufrasina, localizada na Baía de Paranaguá, Paraná–PR, exemplifica este cenário. A dificuldade no acesso aliado ao relevo e as características geológicas são fatores complexos para a implementação de sistemas convencionais de esgotamento sanitário em toda a sua extensão.

Diante desses desafios, as soluções de saneamento de menor porte e descentralizado apresentam-se como alternativas viáveis (ABNT, 2024). Há tecnologias como fossas sépticas biodigestoras, círculos de bananeiras, jardins filtrantes (conhecidos como *wetlands* construídos) e sistemas de vermifiltração que oferecem tratamentos eficazes exigindo pouco espaço, adaptáveis às condições locais e com menor custo de implantação e operação comparativamente às grandes redes coletoras (ABNT, 2024; DE CARVALHO, 2023; PHILIPPI & COLZANI, 2010).

Contudo, o sucesso na implantação dessas tecnologias depende de um planejamento criterioso, que por sua vez se baseia no conhecimento preciso das características físicas do local. Neste contexto, as geotecnologias, particularmente o mapeamento planialtimétrico de alta resolução obtido por meio de Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs), configuram-se como uma grande ferramenta de obtenção de dados e de planejamento. Os VANTs, equipados com câmeras de alta resolução, permitem a coleta rápida e detalhada de dados topográficos e imagéticos, que, processados por softwares fotogramétricos, geram produtos como ortomosaicos, Modelos Digitais de Superfície (MDS) e Modelos Digitais de Terreno (MDT) (GENTIL, 2018; TOMMASELLI & MENEZES, 2020). Esses produtos são insumos essenciais para a elaboração de mapas de declividade, curvas de nível e para a análise espacial detalhada em Sistemas de Informação Geográfica (SIG).

O objetivo deste estudo é demonstrar como a análise de produtos cartográficos derivados de levantamentos com VANT pode subsidiar a identificação de locais adequados e a seleção de tecnologias de tratamento de esgoto descentralizado, que pode ser repetido em outras comunidades. A pesquisa empenha-se em identificar as especificidades topográficas e espaciais da comunidade de Eufrasina, otimizando as intervenções e auxiliando na concepção e desenvolvimento de soluções de saneamento que se adaptam a essas características.

OBJETIVOS

O objetivo deste levantamento é averiguar e constatar a possibilidade da utilização de dados obtidos por meio de Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) para a elaboração de mapas planialtimétricos para subsidiar a seleção de tecnologias de tratamento de esgoto descentralizado para uma localidade.

Como objetivos específicos, destacam-se:

1. Realizar o levantamento aerofotogramétrico da área delimitada na Ilha de Eufrasina (setor do Trapiche) utilizando um VANT.
2. Processar as imagens aéreas para gerar um ortomosaico georreferenciado, um Modelo Digital de Superfície (MDS) e um Modelo Digital de Terreno (MDT).
3. Derivar produtos cartográficos secundários, como curvas de nível e mapa de declividade, utilizando um software SIG.
4. Identificar, com base nos critérios da ABNT NBR 17076:2024 e nas características identificadas na área por meio do levantamento aerofotogramétrico, as tecnologias de tratamento de esgoto descentralizado viáveis para a implantação na área de estudo.
5. Propor um modelo de análise espacial que possa ser replicado para outras áreas da ilha com características semelhantes.

METODOLOGIA

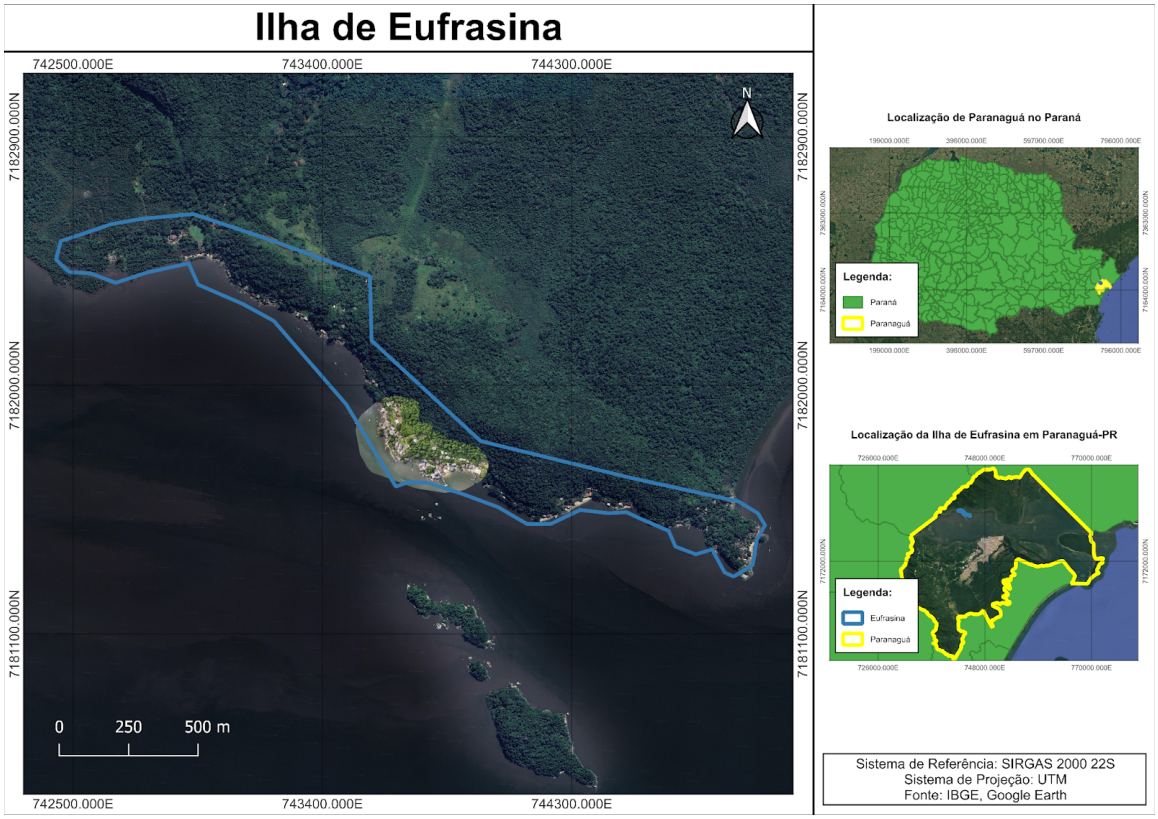
A metodologia adotada neste estudo compreendeu três etapas principais: aquisição de dados geoespaciais por meio de VANT, processamento fotogramétrico para geração de produtos cartográficos e análise espacial em ambiente SIG para subsidiar a escolha das tecnologias de saneamento.

Área de Estudo

A Ilha de Eufrasina é uma comunidade insular com acesso via marítima, que se localiza na porção sul da Baía de Paranaguá, estado do Paraná, Brasil. A ilha é caracterizada por uma ocupação com habitações dispersas, e apresenta um relevo predominantemente acidentado e áreas de vegetação densa, dificultando o acesso e a implantação de infraestrutura de saneamento convencional. Na comunidade há uma área de maior adensamento de edificações, onde há o Trapiche principal da ilha, local em que foram realizados os levantamentos.

A Figura 1 exibe o mapa da área de estudo, construído com o software *QGIS*, com dados coletados do IBGE e do *Google Earth*. Nela, o setor trapiche está destacado no perímetro delineado em azul, o qual distingue a área em que há edificações no território.

Figura 1 – Localização da área de estudo no setor do Trapiche, Ilha de Eufrasina, Paranaguá–PR.



Fonte: Os Autores (2025).

Aquisição de Dados Geoespaciais

O levantamento de dados geoespaciais no setor do Trapiche ocorreu em 08/05/2024, entre 14:25:05 e 14:37:02, por meio de um levantamento aerofotogramétrico utilizando um Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) modelo DJI Air 2S, equipado com câmera DJI FC3411. O planejamento da missão de voo foi executado com o auxílio do aplicativo *Map Pilot Pro*, seguindo as diretrizes de Tommaselli e Menezes (2020) para otimizar a qualidade dos dados.

O voo foi configurado para uma altitude de 100 metros acima do nível do solo (AGL), com sobreposição longitudinal de 80% e lateral de 70%. Foram obtidas 158 imagens aéreas, cobrindo a área de 0,109985 km². Estas configurações resultaram em uma Distância de Amostra do Solo (GSD) média de 6,3 cm/pixel. O sistema de referência utilizado foi o SIRGAS 2000 (EPSG: 31982), com as coordenadas geográficas obtidas diretamente dos dados de GPS embarcados no VANT. Não foram utilizados Pontos de Controle em Solo (GCPs) neste levantamento preliminar, sendo a acurácia dos produtos dependente da precisão do sistema de navegação do VANT.

Processamento dos Dados Fotogramétricos

O processamento das 158 imagens aéreas coletadas na área do Trapiche foi realizado utilizando o software de código aberto *WebODM* (*OpenDroneMap*) versão 3.5.5. Todas as 158 imagens foram reconstruídas (100,0%). O fluxo de trabalho no *WebODM* seguiu as etapas padrão da fotogrametria, incluindo o carregamento e alinhamento das imagens (com uma mediana de 10.601 feições detectadas e 2.448 feições reconstruídas por imagem), a geração da nuvem de pontos esparsa (com 92.686 pontos reconstruídos de 95.182 identificados, representando 97,4%) e, subsequentemente, da nuvem de pontos densa, totalizando 15.514.679 pontos. O tempo total de processamento das informações totalizou em 17 minutos e 1 segundo.

O relatório de qualidade do *WebODM* (processado em 15/05/2025) indicou um Erro Quadrático Médio (RMS) total para as coordenadas GPS de 1,959 metros. A acurácia horizontal absoluta (CE90) foi de 1,903 metros e a vertical absoluta (LE90) de 1,789 metros. Esta precisão foi considerada satisfatória para os objetivos desta avaliação preliminar, que tem como foco as características topográficas e espaciais relativas da área de estudo. A qualidade do ajuste do bloco fotogramétrico foi evidenciada por um erro médio de reprojeção de 0,58 pixels (normalizado: 0,08; angular: 0,00039 rad). O comprimento médio das trilhas de correspondência entre as imagens foi de 3,85 imagens.

Os principais produtos derivados deste processamento foram: um Ortomosaico Georreferenciado, um Modelo Digital de Superfície (MDS) e um Modelo Digital de Terreno (MDT). O MDT, que representa o relevo nu, foi obtido pela classificação da nuvem de pontos no *WebODM*, um processo que aplica um algoritmo baseado no *Simple Morphological Filter* (SMRF) para remover feições acima do solo, como vegetação e estruturas.

O *WebODM* foi configurado para exportar também um arquivo vetorial de curvas de nível (*contours.shp*) gerado a partir do MDT. Os parâmetros de processamento no *WebODM* incluíram: *dsm: true*, *dtm: true*, *dem-resolution: 5.0 pixels*, *pc-classify: true*, *ignore-gsd: true*, e *auto-boundary: true*. Funcionalidades como *3d-tiles* e *use-3dmesh* foram desativadas para otimizar o tempo de processamento. Todos os produtos cartográficos foram gerados no sistema de coordenadas geográficas WGS84 e exportados para o SIRGAS 2000. Os dados apresentados a seguir foram retirados do Relatório de Qualidade do *WebODM*. A Tabela 1 apresenta o resumo do conjunto de dados e dos parâmetros gerais utilizados no processamento fotogramétrico referente ao setor do Trapiche, na Ilha de Eufrasina.

Tabela 1 – Sumário do conjunto de dados e parâmetros gerais do processamento fotogramétrico para o setor do Trapiche, Ilha de Eufrasina.

ODM Quality Report

Processed with ODM version 3.5.5

Dataset Summary

Date	15/05/2025 at 03:08:25
Area Covered	0.109985 km²
Processing Time	17.0m:1.0s
Capture Start	08/05/2025 at 14:25:05
Capture End	08/05/2025 at 14:37:02

Fonte: Os Autores (2025).

A Tabela 2 sumariza os parâmetros de processamento das 158 imagens obtidas pelo VANT, incluindo número de imagens reconstruídas (100,0%), contagem de pontos da nuvem densa (15.514.679 pontos), GSD médio (6,3 cm) e erro de GPS (1,96 metros RMS).

Tabela 2 – Sumário dos resultados do processamento fotogramétrico das imagens VANT para o setor do Trapiche.

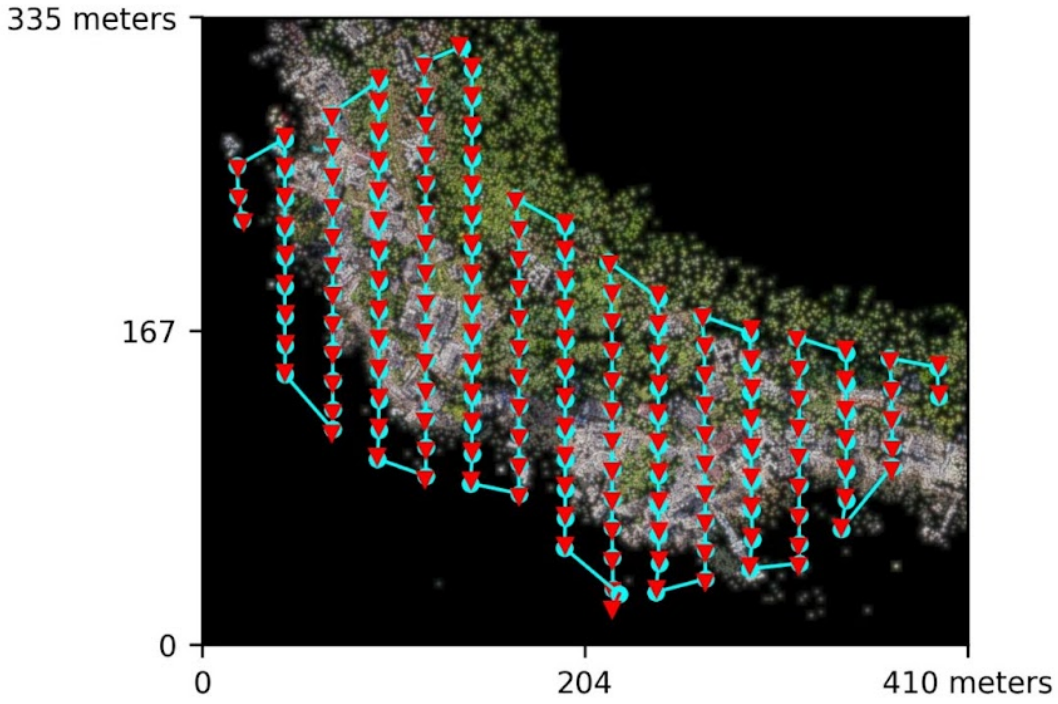
Processing Summary

Reconstructed Images	158 over 158 shots (100.0%)
Reconstructed Points (Sparse)	92686 over 95182 points (97.4%)
Reconstructed Points (Dense)	15,514,679 points
Average Ground Sampling Distance (GSD)	6.3 cm
Detected Features	10,601 features
Reconstructed Features	2,448 features
Geographic Reference	GPS
GPS errors	1.96 meters

Fonte: Os Autores (2025).

A Figura 2 apresenta a visualização da trajetória de voo (linhas azuis) e das posições de captura das imagens (triângulos vermelhos), sobrepostas à área de estudo de 0,109985 km². Esses elementos representam os dados do voo realizado em 08/05/2025, processados em 15/05/2025.

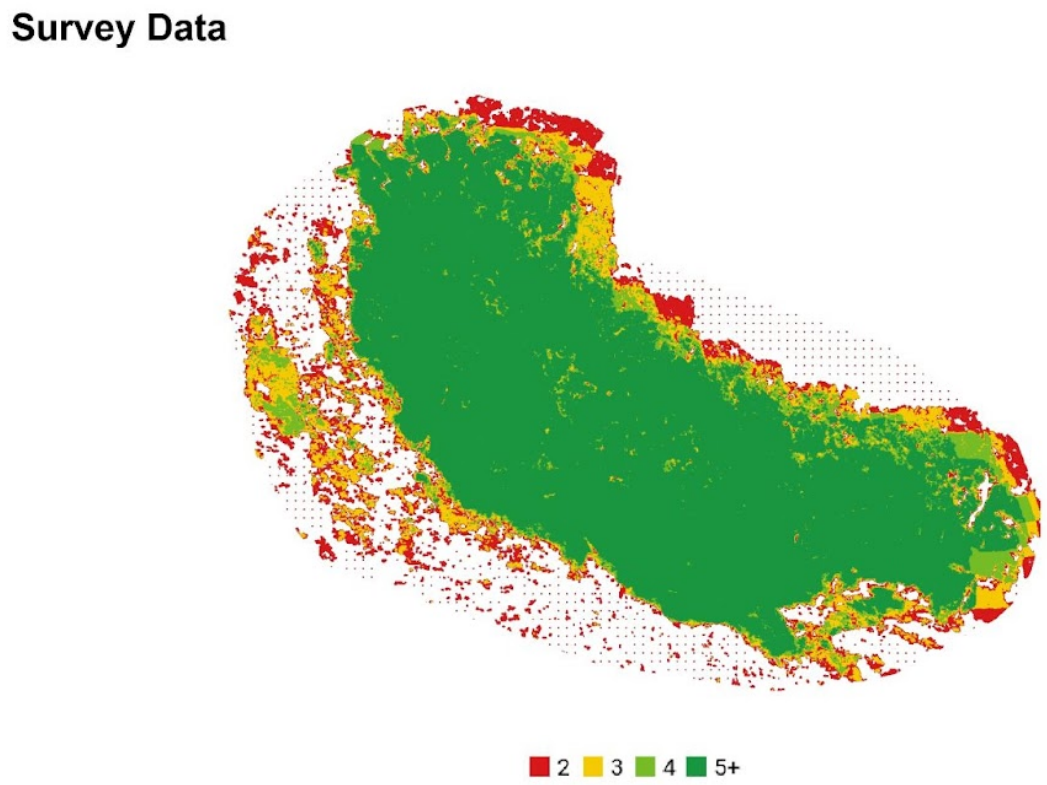
Figura 2 – Trajetória de voo do VANT



Fonte: Os Autores (2025).

A Figura 3 ilustra a distribuição espacial do número de imagens aéreas utilizadas na reconstrução de cada segmento da área de estudo no setor do Trapiche. As cores indicam o número de sobreposições, conforme a escala apresentada na figura (vermelho: 2 imagens; amarelo: 3 imagens; verde-claro: 4 imagens; verde-escuro: 5 ou mais imagens). As áreas com maior número de sobreposições (tons verdes) tendem a ter uma reconstrução 3D mais robusta e precisa, o que é um indicador da qualidade geométrica do modelo fotogramétrico gerado. A Tabela 3 apresenta estatísticas descritivas relacionadas aos erros de GPS, erros da reconstrução 3D e acurácia posicional absoluta e relativa do levantamento no setor do Trapiche.

Figura 3 – Detalhes da qualidade do levantamento: distribuição espacial da sobreposição de imagens



Fonte: Os Autores (2025).

Tabela 3 – Detalhamento dos erros de GPS, erros da reconstrução 3D e acurácia posicional absoluta e relativa do levantamento no setor do Trapiche.

GPS/GCP/3D Errors Details

GPS	Mean	Standard Deviation	RMS Error
X Error (meters)	-0.002	0.432	0.432
Y Error (meters)	0.005	1.693	1.693
Z Error (meters)	0.001	1.168	1.168
Total			1.959

3D	Mean	Standard Deviation	RMS Error
X Error (meters)	0.078	0.196	0.211
Y Error (meters)	0.042	0.096	0.105
Z Error (meters)	0.128	0.254	0.284
Total			0.171

	Absolute	Relative
Horizontal Accuracy CE90 (meters)	1.903	0.184
Vertical Accuracy LE90 (meters)	1.789	0.309

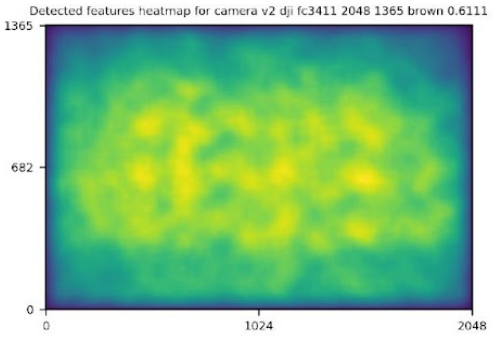
Fonte: Os Autores (2025).

A Figura 4 apresenta o *Heatmap* da distribuição espacial das feições detectadas na imagem média da câmera DJI FC3411, indicando áreas com maior concentração de pontos de interesse (tons mais claros) utilizados na reconstrução 3D. A tabela apresenta estatísticas sobre o número de feições detectadas e efetivamente

reconstruídas durante o processamento fotogramétrico (Mediana Detectadas: 10.601; Mediana Reconstruídas: 2.448), cujos valores foram citados na metodologia para caracterizar a confiabilidade do método utilizado na pesquisa.

Figura 4 – Detalhes das feições detectadas e reconstruídas no processamento fotogramétrico para o setor do Trapiche.

Features Details



	Min.	Max.	Mean	Median
Detected	9920	12554	10719	10601
Reconstructed	117	3837	2259	2448

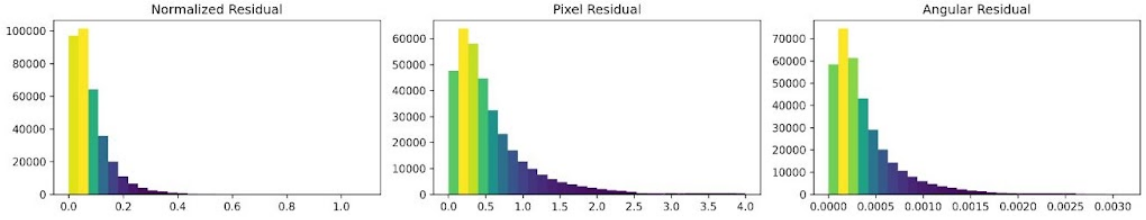
Fonte: Os Autores (2025).

A Figura 5 detalha os indicadores de qualidade da reconstrução 3D, incluindo o erro médio de reprojeção (0,58 pixels), o comprimento médio das trilhas de pontos de amarração (3,85 imagens) e o comprimento médio das trilhas para pontos visualizados em mais de duas imagens (6,07 imagens). Também, observam-se os histogramas que ilustram a distribuição dos resíduos normalizados, em pixels e angulares, demonstrando a concentração de erros próximos de zero, comprovando a precisão do modelo fotogramétrico gerado.

Figura 5 – Detalhes da qualidade da reconstrução fotogramétrica para o setor do Trapiche.

Reconstruction Details

Average Reprojection Error (normalized / pixels / angular)	0.08 / 0.58 / 0.00039
Average Track Length	3.85 images
Average Track Length (> 2)	6.07 images

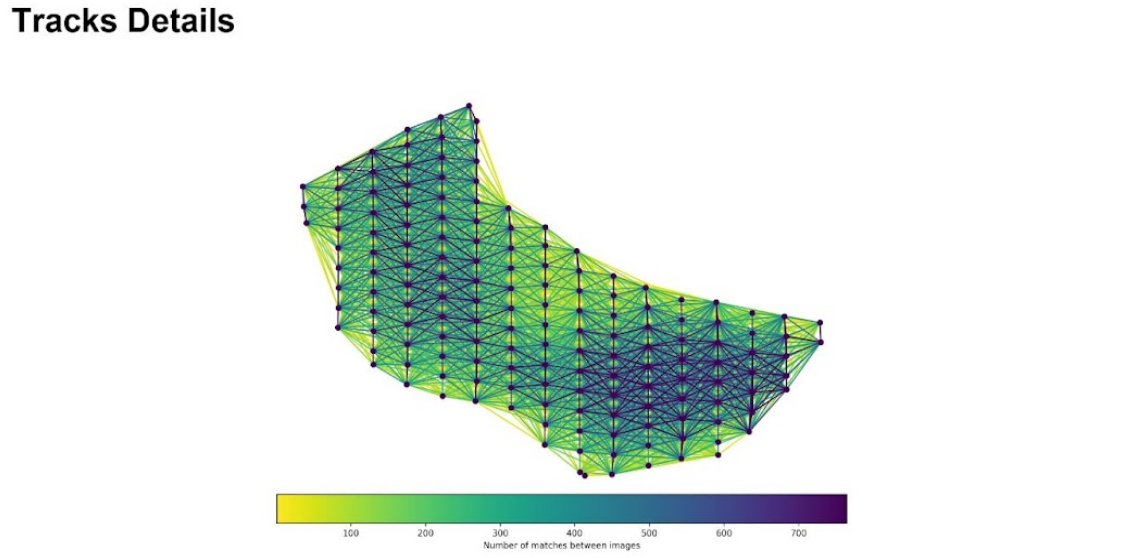


Fonte: Os Autores (2025).

A Figura 6 representa a visualização gráfica da rede de conexões (*matches*) entre as imagens aéreas, onde linhas mais densas ou cores mais intensas indicam maior número de correspondências, contribuindo para a robustez dos resultados e confiabilidade da reconstrução geométrica. A tabela detalha a contagem de trilhas de

pontos de amarração por comprimento (número de imagens em que um mesmo ponto foi identificado), sendo que trilhas mais longas (e.g., >2 imagens, cujo comprimento médio foi de 6,07 imagens, conforme citado na metodologia) indicam maior confiabilidade na reconstrução 3D.

Figura 6 – Detalhes das trilhas de correspondência entre imagens no processamento fotogramétrico para o setor do Trapiche.



Length	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Count	50546	14943	7402	4489	3100	2208	1747	1444	1129

Fonte: Os Autores (2025).

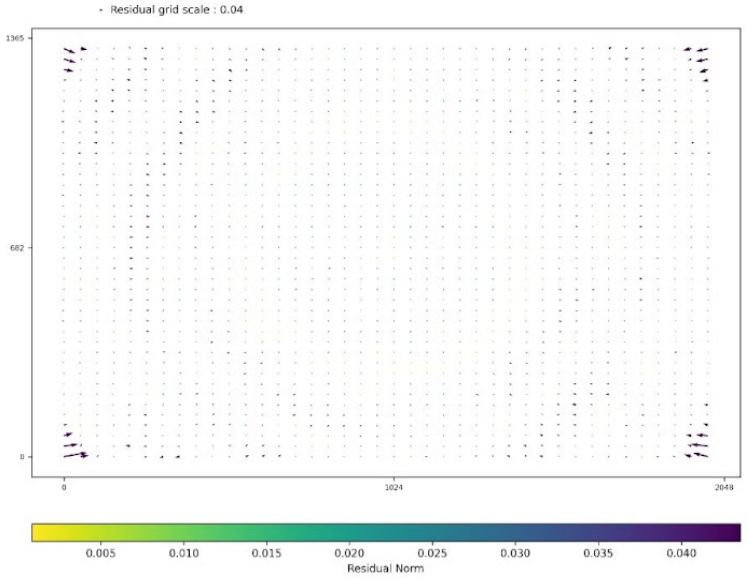
A Figura 7 identifica o modelo da câmera utilizada (v2 dji fc3411 2048 1365 brown 0.6111) e a tabela comparativa dos parâmetros intrínsecos iniciais e otimizados (coeficientes de distorção radial k1, k2, k3 e tangencial p1, p2; distância focal; razão de aspecto; e coordenadas do ponto principal cx, cy) após o processo de auto calibração. O gráfico inferior ("*Residual grid*") da figura ilustra a distribuição espacial e a magnitude dos erros residuais (norma do residual) em toda a extensão do sensor da câmera, indicando a qualidade do ajuste do modelo de calibração. Os valores de resíduos menores e distribuídos aleatoriamente são desejáveis para aumentar a credibilidade do processamento de imagens.

Figura 7 – Detalhes do modelo da câmera (DJI FC3411) e parâmetros de calibração interna otimizados.

Camera Models Details

v2 dji fc3411 2048 1365 brown 0.6111

	k1	k2	k3	p1	p2	focal	aspect_ratio	cx	cy
Initial	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.6111	1.0000	0.0000	0.0000
Optimized	-0.0691	0.0551	0.0070	-0.0005	0.0000	0.6213	1.0000	0.0011	0.0044



Fonte: Os Autores (2025).

Análise Geoespacial e Geração de Produtos Cartográficos no *QGIS*

Utilizando o software *QGIS*, os produtos gerados pelo *WebODM* foram importados e processados para análises adicionais:

1. Geração de Curvas de Nível: A partir do MDT, foram geradas curvas de nível com equidistância de 5 metros para visualização detalhada das variações topográficas (Figura 16).
2. Criação de Mapa de Declividade: O MDT foi utilizado para gerar um mapa de declividade do terreno, o qual foi reclassificado em seis classes (plano, suave ondulado, ondulado, forte ondulado, montanhoso e escarpado) seguindo a metodologia da Embrapa, para identificar áreas com diferentes graus de inclinação (Figura 16).
3. Sobreposição de Camadas: As diferentes camadas de informação (curvas de nível, declividade) foram sobrepostas para identificar as zonas mais adequadas para cada tipo de sistema de tratamento descentralizado.

Tecnologias de Saneamento Consideradas

Para a avaliação preliminar da adequabilidade de implantação na Ilha de Eufrasina, foram consideradas as seguintes tecnologias de tratamento de esgoto descentralizado apresentadas nas Figuras 8, 9, 10, 11 e 12, conforme a norma ABNT NBR 17076:2024.

Biodigestor Anaeróbio: De acordo com Andrade *et al*. (2002), é um sistema que reduz a matéria orgânica presente no esgoto por meio de microrganismos na ausência de oxigênio (digestão anaeróbia). Na Ilha de Eufrasina, estes sistemas são frequentemente construídos utilizando-se conjuntos de bombonas plásticas interligadas (normalmente três unidades de aproximadamente 0,60 m de diâmetro cada), ilustrado na Figura 8. Linhas de biodigestores podem incluir uma terceira bombona contendo material filtrante alternativo, como resíduos locais (e.g., cascas de mariscos, fragmentos plásticos, restos de construção civil), visando um polimento adicional do efluente. O processo resulta na produção de biogás e um efluente líquido parcialmente estabilizado (biofertilizante). Os componentes principais incluem os tanques de digestão (bombonas),

estruturas de entrada para o esgoto bruto e saída para o efluente tratado, e um sistema para coleta ou escape do biogás.

Figura 8 – Biodigestor Anaeróbio artesanal construído com bombonas plásticas.



Fonte: Os Autores (2025).

Círculo de Bananeiras: Trata-se de uma técnica agroecológica para o tratamento e disposição final de águas cinzas e, por vezes, do efluente de sistemas primários de tratamento (GARCIA, 2023). O sistema consiste em uma escavação central preenchida com material orgânico (como galhos, folhas e palha), que promove a infiltração lenta da água no solo. Ao redor desta bacia são plantadas bananeiras e outras espécies vegetais com alta capacidade de absorção de água e nutrientes. A Figura 9 exibe uma implementação desta técnica.

Figura 9 – Círculo de Bananeiras implantado para tratamento de efluentes.



Fonte: Os Autores (2025).

Jardim Filtrante (*Wetland* Construído): Sistema de tratamento semelhante aos processos de purificação que ocorrem em áreas alagadas naturais. O esgoto flui por um leito impermeabilizado preenchido com material granular, onde macrófitas aquáticas são cultivadas (BLAUTH *et al*., 2020). A remoção de poluentes ocorre por uma combinação de processos físicos, químicos e biológicos. Na Ilha de Eufrasina, a construção destes sistemas prioriza o uso de rochas do próprio local para estruturar os leitos, utilizando-se também uma mistura de argila/barro e palha como material de ligação e impermeabilização complementar. A Figura 10 ilustra um exemplo.

Figura 10 – Jardim Filtrante (*Wetland* Construído) utilizando materiais locais.



Fonte: Os Autores (2025).

Vermifiltro: Sistema de tratamento biológico que utiliza a ação combinada de minhocas e microrganismos para decompor a matéria orgânica e reduzir patógenos presentes no esgoto. As estruturas para os vermifiltros na ilha são confeccionadas a partir de uma única bombona plástica (de aproximadamente 0,60 m de diâmetro) ou pelo reaproveitamento de caixas d'água de fibrocimento em desuso. O esgoto é aplicado sobre um leito filtrante (composto por materiais como serragem, aparas de madeira, fibra de coco e húmus de minhoca), onde as minhocas promovem a aeração e fragmentação de sólidos (SARTORI, 2010). A Figura 11 ilustra um exemplo de vermifiltro implantado na Ilha de Eufrasina.

Figura 11 – Sistema de Vermifiltro para tratamento de esgoto doméstico.



Fonte: Os Autores (2025).

Tanque de Evapotranspiração (TEvap): Solução para tratamento e disposição final de esgoto sanitário no próprio local, visando a não geração de efluente líquido, especialmente indicada para áreas com solo de baixa permeabilidade ou lençol freático elevado. Consiste em um tanque impermeabilizado, preenchido com camadas de diferentes granulometrias e uma camada superficial de solo fértil com plantas de alta taxa de evapotranspiração (REZENDE *et al*., 2021). Para a construção dos TEVAPs na ilha, são utilizadas rochas locais para compor a estrutura e as camadas drenantes, manta geotêxtil e uma mistura de argila/barro com palha pode ser empregada como agregado ou para auxiliar na impermeabilização das paredes do tanque. Um exemplo desta tecnologia é apresentado na Figura 12.

Figura 12 — Tanque de Evapotranspiração (TEvap)



Fonte: Os Autores (2025).

Critérios de Avaliação Planialtimétrica

A avaliação da adequabilidade dos locais para a implantação das tecnologias de tratamento de esgoto descentralizado seguiu os critérios estabelecidos na ABNT NBR 17076:2024 — Sistemas de saneamento in situ: tanques sépticos e unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos — Projeto, construção, operação e manutenção, complementados por boas práticas de engenharia e pelas especificidades construtivas do projeto adaptado para a Ilha de Eufrasina.

A ABNT NBR 17076:2024, determina que para a implantação dos sistemas, deverá ser seguido critérios gerais de localização, conforme a Seção 5.1, sendo:

- Distâncias horizontais mínimas: 1,5 m dos limites do terreno, de construções e de ramais prediais de água; 3,0 m de tubulações da rede pública de abastecimento (se aplicável); 15,0 m de poços freáticos e corpos de água (nascentes, mar); 3,0 m de árvores com raízes potencialmente danosas; 3,0 m de outros sistemas de disposição final.
- Acesso para inspeção e manutenção.
- Segurança, odores e ruídos em relação à proximidade de residências e áreas de trânsito.

Critérios Específicos por Tecnologia (Baseados na ABNT NBR 17076:2024 e adaptações do projeto):

- Biodigestor Anaeróbio:
    - Declividade do Terreno: Preferencialmente em terrenos com declividade suave (0-5%) para estabilidade das bombonas. Leves inclinações podem ser aproveitadas para fluxo gravitacional. Evitar declividades >20%.
    - Área Mínima: Aproximadamente 2,5 m² a 4,0 m² para o conjunto de três bombonas, mais área de acesso.
    - Elevação/Fluxo: Localização que permita escoamento por gravidade da residência ao sistema e deste ao pós-tratamento. Proteção contra inundações.

- Círculo de Bananeiras:
    - Declividade do Terreno: Adaptável a terrenos com declividade de 0-20%. Em encostas, instalar acompanhando as curvas de nível.
    - Área Mínima: Aproximadamente 7-12 m² (diâmetro de 3-4 m).
    - Elevação/Fluxo: Deve receber efluente por gravidade. Evitar áreas de concentração de fluxo de enxurrada. Manter distância vertical mínima do aquífero (referência: 1,50 m para valas de infiltração, NBR 17076:2024, anexo L.3.2).
- Jardim Filtrante (*Wetland* Construído):
    - Declividade do Terreno: Fundo do leito com inclinação de ~1% (NBR 17076:2024, H.3.1). Pode ser implantado em terrenos com declividade natural de até 10–15%, com terraplanagem.
    - Área Mínima: Dimensionada conforme taxas de aplicação orgânica e hidráulica (NBR 17076:2024, H.2.3).
    - Elevação/Fluxo: Permitir fluxo gravitacional. Proteger de inundações.
- Vermifiltro:
    - Declividade do Terreno: Preferencialmente plano ou com declividade suave (0-5%).
    - Área Mínima: Estimada entre 1,0 m² e 1,5 m² por unidade, mais área de acesso. Dimensionamento pela taxa de aplicação hidráulica (0,50 a 1,00 m³/m².d — NBR 17076:2024, I.2.1, I.2.2).
    - Elevação/Fluxo: Permitir fluxo gravitacional. Proteger de inundações.
- Tanque de Evapotranspiração (TEvap):
    - Declividade do Terreno: Superfície quase nivelada (0-1%). Em encostas, acompanhar curvas de nível (NBR 17076:2024, M.4.b). Fundo com inclinação mínima de 1% (M.2.d).
    - Área Mínima: Mínimo de 2,0 m² por pessoa contribuinte (M.2.b).
    - Elevação/Fluxo: Receber efluente por gravidade. Local aberto, com boa ventilação e insolação (M.6.a). Distância mínima de 3,0 m de árvores (M.6.b).

RESULTADOS

O levantamento aerofotogramétrico do setor do Trapiche na Ilha de Eufrasina, realizado em 08/05/2024, utilizando um VANT DJI Air 2S, resultou na coleta de 158 imagens aéreas. Estas imagens cobriram uma área de 0,109985 km² com uma Distância de Amostra do Solo (GSD) média de 6,3 cm/pixel. O processamento fotogramétrico subsequente, utilizando o software *WebODM* (versão 3.5.5), levou aproximadamente 17 minutos e reconstruiu 100% das imagens capturadas. Este processamento gerou uma nuvem de pontos esparsa com 92.686 pontos (97,4% dos pontos identificados) e uma nuvem de pontos densa com 15.514.679 pontos.

A qualidade do modelo tridimensional foi avaliada indicando um erro médio de reprojeção de 0,58 pixels (normalizado: 0,08; angular: 0,00039 rad). A acurácia posicional, baseada nos dados GPS embarcados no VANT (não foram utilizados Pontos de Controle em Solo neste levantamento preliminar), indicou um Erro Quadrático Médio (RMS) total de 1,959 metros, com uma acurácia horizontal absoluta (CE90) de 1,903 metros e vertical absoluta (LE90) de 1,789 metros. Esta precisão foi considerada adequada para a finalidade preliminar deste estudo, que visa a caracterização topográfica e espacial para o planejamento de saneamento.

Os principais produtos cartográficos derivados deste processamento e utilizados nas análises subsequentes incluem:

O primeiro produto gerado é o Ortomosaico Georreferenciado (Figura 13). Trata-se de uma imagem aérea ortorretificada da área de estudo. Sua alta resolução espacial é crucial para a fotointerpretação, identificação e

localização das 47 edificações (44 residências, 2 igrejas e 1 associação), limites de vegetação, caminhos, a linha de costa e para a análise da cobertura do solo, subsidiando a análise de disponibilidade de espaço.

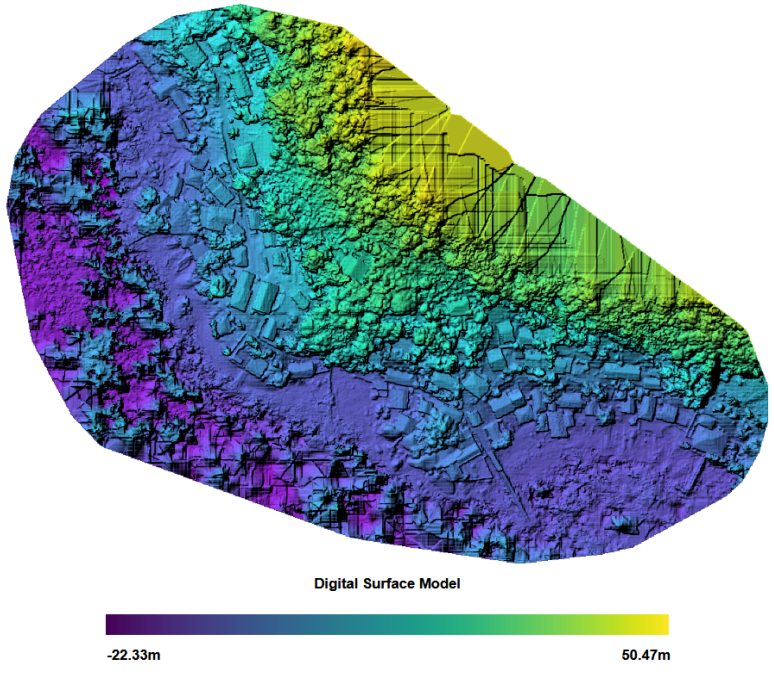
Figura 13 — Ortomosaico Georreferenciado



Fonte: Os autores, 2025 a partir de dados *WebODM*.

Para a compreensão da tridimensionalidade da área, incluindo a altura de objetos como a copa das árvores e o topo das construções, foi gerado o Modelo Digital de Superfície (MDS), ilustrado na Figura 14. Este modelo representa as altitudes da superfície, incluindo vegetação e edificações, com valores de elevação que variam aproximadamente de −22,33 m a 50,47 m. O MDS é particularmente útil para análises de visada, estimativa da altura da vegetação (pela diferença com o MDT) e para entender o volume espacial ocupado por diferentes feições, o que pode ser relevante para avaliar sombreamento ou barreiras visuais.

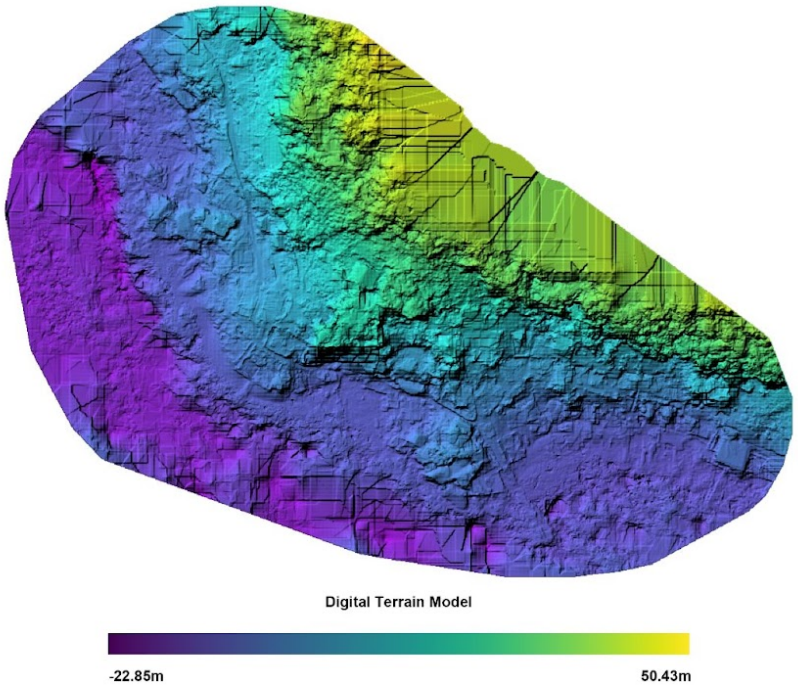
Figura 14 — Modelo Digital de Superfície (MDS)



Fonte: Os autores, 2025 a partir de dados *WebODM*.

Para a análise específica do relevo terrestre, livre da interferência de objetos sobre o solo, foi derivado o Modelo Digital de Terreno (MDT), apresentado na Figura 15. O MDT representa a topografia real do solo no setor do Trapiche, com elevações entre -22,85 m e 50,43 m e uma precisão vertical (LE90) estimada em 1,789 metros. O MDT é a base para todas as análises topográficas subsequentes, como a geração de curvas de nível e declividade (Figura 16), sendo necessário para entender a morfologia do terreno e sua influência na adequabilidade dos locais para saneamento.

Figura 15 — Modelo Digital de Terreno (MDT)

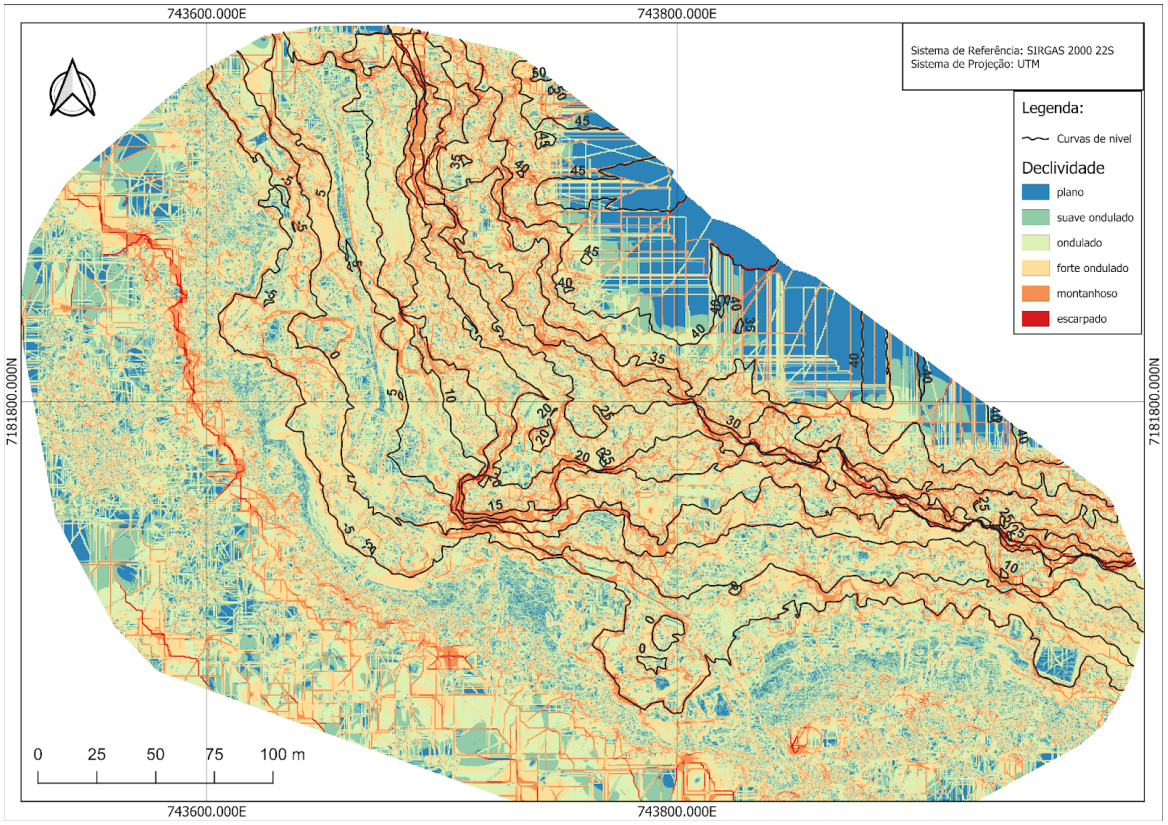


Fonte: Os autores, 2025 a partir de dados *WebODM*.

A partir do MDT, foi elaborado um Mapa de Declividade e Curvas de Nível (Figura 16) para permitir uma avaliação integrada e detalhada da topografia do setor do Trapiche. Neste mapa, as curvas de nível, geradas com equidistância de 5 metros, representam as linhas de mesma altitude, sendo fundamentais para a análise de fluxos gravitacionais, planejamento de escavações e identificação geral das formas do relevo. Sobreposta a esta base, a declividade do terreno foi classificada em seis categorias (plano, suave ondulado, ondulado, forte ondulado, montanhoso e escarpado), seguindo critérios da Embrapa. A combinação destas informações em um único mapa é um fator determinante para analisar a viabilidade técnica de instalação de cada tecnologia de saneamento, bem como para indicar áreas com potenciais riscos geotécnicos ou que exigiriam maiores intervenções de engenharia.

Para uma avaliação quantitativa e espacial da inclinação do terreno, fator determinante na escolha e projeto de sistemas de saneamento, elaborou-se o Mapa de Declividade e Curvas de Nível, apresentado na Figura 16. Este mapa classifica o terreno em seis categorias de declividade (plano, suave ondulado, ondulado, forte ondulado, montanhoso e escarpado), seguindo critérios da Embrapa. Tal classificação permite analisar a viabilidade técnica de instalação e operação de cada tecnologia de saneamento e também ajuda a indicar áreas com potenciais riscos geotécnicos ou que exigem maiores intervenções de engenharia e custos para implantação.

Figura 16 — Mapa de Declividade e Curvas de Nível do setor do Trapiche, Ilha de Eufrasina



Fonte: Elaborado pelos autores utilizando *QGIS* (2025).

A partir destes produtos-base, foram realizadas análises geoespaciais no software *QGIS* para identificar as características topográficas e espaciais relevantes para a instalação de sistemas de saneamento descentralizado em cada um dos 47 (44 residências, 2 igrejas e 1 associação) edificações identificados no setor do Trapiche.

ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A integração dos produtos cartográficos gerados pelo VANT — Ortomosaico (Figura 13), MDS (Figura 14), MDT (Figura 15), Mapa de Declividade e Curvas de Nível (Figura 16) — permitiu uma análise detalhada das características físicas do setor do Trapiche, necessária para subsidiar a seleção de tecnologias de saneamento descentralizado das edificações da comunidade.

Características Gerais do Relevo e Declividade

A área de estudo apresenta uma variação altimétrica significativa, definindo zonas morfologicamente distintas. As regiões mais planas (declividade de 0-3%, representadas pela cor azul no Mapa de Declividade e Curvas de Nível, Figura 16) concentram-se predominantemente nas porções sudoeste e oeste, coincidindo com áreas onde o ortomosaico (Figura 13) revela traçados retilíneos e quadriculados, indicativos de maior adensamento de edificações e caminhos. O Mapa de Declividade e Curvas de Nível (Figura 16) corrobora essa observação, com curvas de nível mais espaçadas nessas áreas.

Por outro lado, as áreas de maior declividade, classificadas como “forte ondulado” (amarelo-alaranjado), “montanhoso” (laranja) e “escarpado” (vermelho) no Mapa de Declividade e Curvas de Nível (Figura 16), localizam-se principalmente na porção nordeste, estendendo-se por faixas centrais e algumas bordas da área mapeada. Nessas zonas, o Mapa de Curvas de Nível e Declividade (Figura 16) exibe um adensamento significativo das curvas, indicando inclinações acentuadas, com altitudes que frequentemente ultrapassam os 50 metros, especialmente no quadrante superior direito do mapa. A predominância de áreas escarpadas nestas regiões pode representar riscos geotécnicos e impor dificuldades para a ocupação e instalação de

infraestruturas. As áreas de declividade “suave ondulado” (verde-claro) e “ondulado” (amarelo) estão dispersas, principalmente na porção central e sul, representando zonas de transição.

A análise integrada dos mapas de declividade e curvas de nível revela que as áreas próximas ao trapiche e as construções existentes, majoritariamente a oeste e sudoeste, apresentam relevo predominantemente plano a suavemente ondulado. Esta característica é favorável à implantação da maioria das tecnologias de saneamento descentralizado que requerem menor movimentação de terra e estabilidade. Em contraste, o interior da ilha, especialmente a leste e nordeste, é caracterizado por encostas íngremes e terrenos acidentados, com potencial restrição ao uso e maior complexidade para projetos de engenharia. A transição entre estas zonas é, em alguns pontos, abrupta, demandando atenção especial para o manejo de águas pluviais e estabilidade de taludes. A configuração das curvas de nível também sugere a presença de canais de drenagem natural, onde as curvas formam um “V” voltado para as áreas mais baixas.

Adequabilidade das Tecnologias de Saneamento

Considerando os critérios da ABNT NBR 17076:2024 e as características do terreno:

- Biodigestores Anaeróbios e Vermifiltros: A maior viabilidade para estas tecnologias concentra-se nas áreas planas a suavemente onduladas (0-8% de declividade), predominantes no setor sudoeste e oeste, próximo às edificações existentes. Nessas áreas, o espaço mínimo requerido (1,0 m² a 4,0 m²) geralmente pode ser encontrado. O fluxo por gravidade do esgoto e do efluente tratado deve ser verificado individualmente para cada residência com base nas curvas de nível.
- Círculos de Bananeiras e Jardins Filtrantes (*Wetlands*): Estas soluções demonstram maior adaptabilidade, podendo ser implantadas em áreas com declividade suave a ondulada (até 15–20%). O Mapa de Declividade (Figura 16) indica diversas porções centrais e sulinas onde estas tecnologias seriam apropriadas, desde que a instalação acompanhe as curvas de nível em terrenos inclinados. A área necessária, maior para os jardins filtrantes, deve ser verificada no ortomosaico, juntamente com o distanciamento de corpos d'água.
- Tanques de Evapotranspiração (TEvap): Sua exigência por declividade plana (0-1%) e boa insolação restringe consideravelmente sua aplicação às áreas planas identificadas no sudoeste e oeste. A presença de vegetação densa, observada no MDS (Figura 14) e no ortomosaico, pode ser um fator limitante adicional em alguns pontos, devido ao sombreamento.

Contribuição e Limitações da Metodologia

O levantamento aerofotogramétrico com VANT e o subsequente processamento e análise em SIG demonstraram ser ferramentas úteis para a caracterização realizada e detalhada do terreno na Ilha de Eufrasina. A alta resolução do ortomosaico (GSD de 6,3 cm) e a precisão vertical do MDT (LE90 de 1,789 m), mesmo sem o uso de GCPs, foram suficientes para uma avaliação preliminar robusta, permitindo a identificação de áreas críticas e potenciais. Esta abordagem é particularmente vantajosa em locais de difícil acesso, oferecendo um custo-benefício superior aos métodos topográficos tradicionais para estudos de viabilidade inicial.

As limitações inerentes a este estudo preliminar incluem a ausência de dados geotécnicos específicos (como permeabilidade do solo e profundidade do lençol freático), cruciais para o dimensionamento e a segurança dos sistemas de infiltração. A avaliação de risco geotécnico em áreas escarpadas, embora indicada pela declividade, necessita de estudos geológicos e geotécnicos complementares. A acurácia absoluta dos produtos, dependente do GPS embarcado, pode ser aprimorada com o uso de GCPs em fases subsequentes do projeto.

CONCLUSÕES

A aplicação de geotecnologias, incluindo levantamento com VANT e análise em SIG, demonstrou ser uma ferramenta eficiente para o planejamento preliminar de sistemas de saneamento descentralizado no setor do Trapiche da Ilha de Eufrasina, uma área com desafios topográficos e técnicos.

Os principais resultados e conclusões deste estudo são:

1. O levantamento aerofotogramétrico permitiu a geração de produtos cartográficos de alta resolução (ortomosaico, MDS, MDT, curvas de nível e mapa de declividade) que caracterizam detalhadamente a área de estudo, com GSD de 6,3 cm e acurácia vertical absoluta (LE90) do MDT de 1,789 metros.

2. A análise planialtimétrica revelou um contraste geomorfológico marcante no setor do Trapiche: as porções sudoeste e oeste apresentam relevo predominantemente plano a suavemente ondulado, favorável à implantação de diversas tecnologias de saneamento. Em contrapartida, as porções nordeste e central são caracterizadas por encostas íngremes e terrenos acidentados, com declividades que podem atingir níveis montanhosos e escarpados, impondo restrições significativas e demandando soluções de engenharia específicas para ocupação e instalação de sistemas.
3. A sobreposição dos mapas temáticos com os critérios da ABNT NBR 17076:2024 possibilitou uma avaliação preliminar da adequabilidade de diferentes tecnologias de tratamento de esgoto descentralizado. Sistemas como biodigestores e vermifiltros são mais indicados para as áreas planas, enquanto círculos de bananeiras e jardins filtrantes oferecem maior flexibilidade em terrenos com declividade moderada. Os TEvaps, por sua vez, são mais restritos às áreas planas e com boa insolação.
4. A metodologia adotada otimiza o processo de tomada de decisão, fornecendo uma base de dados espaciais precisa para o planejamento técnico e a seleção de soluções de saneamento mais seguras, resilientes e adaptadas às condições locais.
5. Este estudo reforça o potencial das geotecnologias como ferramentas de baixo custo relativo e alta eficiência para o diagnóstico e planejamento em áreas remotas e carentes de infraestrutura, sendo a metodologia aqui apresentada passível de replicação para outras comunidades com desafios similares.

Recomenda-se, para as próximas fases do projeto, a realização de investigações geotécnicas complementares in situ para determinar a permeabilidade do solo e a profundidade do lençol freático, bem como a continuidade dos levantamentos aerofotogramétricos em toda a comunidade para subsidiar as tomadas de decisões quanto às implantações em outras regiões.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT — ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13969: Tanques sépticos — Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos — Projeto, construção e operação. Rio de Janeiro, 1997.
2. ABNT — ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7229: Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos. Rio de Janeiro, 1993.
3. ABNT — ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 17076: Sistemas de saneamento in situ — Tanques sépticos e unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos — Projeto, construção, operação e manutenção. Rio de Janeiro, 2024.
4. ANDRADE, Marcio Antonio Nogueira *et al.* Biodigestores rurais no contexto da atual crise de energia elétrica brasileira e na perspectiva da sustentabilidade ambiental. Procedings of the 4th Encontro de Energia no Meio Rural, 2002.
5. BLAUTH, Gabrielle Peruch; BEATI, André A. Gutierrez Fernandes. ESTUDO DA EFETIVIDADE DOS JARDINS FILTRANTES NO TRATAMENTO DE EFLUENTES SANITÁRIOS. Disponível em: https://lyceumonline.usf.edu.br/salavirtual/documentos/3050.pdf
6. BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. Manual de Saneamento. 4. ed. rev. Brasília: Funasa, 2015.
7. DE CARVALHO, H. F.; JORDÃO, E. P. Saneamento ecológico: teoria e prática de implantação de círculos de bananeiras. 1. ed. Viçosa–MG: UFV, 2023. 116p.
8. GARCIA, AMANDA MARIA CORREIA. CÍRCULO DE BANANEIRAS: TECNOLOGIA SOCIAL PARA TRATAMENTO DE ÁGUAS CINZAS. Trabalho de Conclusão de Curso, Instituto Federal de São Paulo, Avaré, 2023. Disponível em: https://avr.ifsp.edu.br/images/pdf/Eng_Biossistemas/banco_tcc/2023/TCC_AmandaGarcia%20VF.pdf
9. GENTIL, G. Introdução ao Sensoriamento Remoto por Drones. Editora DronEng, 2018. 218 p.

10. IBGE — Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2010). Censo Demográfico 2010. Disponível em: https://censo2010.ibge.gov.br/. Acesso em: 10 maio 2024.

11. *OPENDRONEMAP. ODM — A Command Line Toolkit to Generate Maps, Point Clouds, 3D Models and DEMs from Drone, Balloon or Kite Images*. Disponível em: https://github.com/OpenDroneMap/ODM. Acesso em: 15 mai. 2024.

12. ONU — Organização das Nações Unidas. Transformando Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. 2015. Disponível em: https://brasil.un.org/sites/default/files/2020-09/agenda2030-pt-br.pdf. Acesso em: 05 maio 2024.

13. PHILIPPI JR, A.; COLZANI, E. (Org.). Curso de Saneamento Básico: Abastecimento de Água, Esgotamento Sanitário, Resíduos Sólidos e Drenagem Urbana. 1. ed. Barueri–SP: Manole, 2010.

14. *QGIS Development Team*. *QGIS Geographic Information System*. *Open Source Geospatial Foundation Project*. Disponível em: http://qgis.osgeo.org. Acesso em: 15 mai. 2024.

15. REZENDE, D. C. V.; MOREIRA, D. A.; REZENDE, S. D. C. V.; SOUZA, J. A. R.; SILVA, É. L.. Tanque de evapotranspiração no tratamento de esgoto sanitário na propriedade rural. Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais, v.12, n.3, p.627–639, 2021

16. SARTORI, Márcia Aparecida. Desempenho de vermifiltros no tratamento de esgoto doméstico em pequenas comunidades. 2010.

17. TOMMASELLI, A. M. G.; MENEZES, G. V. Fotogrametria Digital com Drones. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2020. 224 p.

18. TONETTI, A. L. *et al.* Tratamento de esgotos domésticos em comunidades isoladas. 1 ed. Campinas, Biblioteca Unicamp, 2018.