



FAMIG – FACULDADE MINAS GERAIS

CRISTIANO NUNES BANDEIRA

**TECNOLOGIAS AVANÇADAS COM LIDAR EMBARCADO EM DRONES PARA
PROJETOS DE REDES DE ESGOTO: MODELAGEM E IMPLANTAÇÃO**

Belo Horizonte

2024

CRISTIANO NUNES BANDEIRA

**TECNOLOGIAS AVANÇADAS COM LIDAR EMBARCADO EM DRONES PARA
PROJETOS DE REDES DE ESGOTO: MODELAGEM E IMPLANTAÇÃO**

Projeto apresentado ao Curso de Bacharelado
de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura -
FAMIG

Prof.º Diego de Jesus Queiroz Rosa / Marconi
Lacerda Pires. como requisito parcial para
aprovação na Disciplina.

Belo Horizonte

2024

DEDICATÓRIA

Agradeço primeiramente ao Senhor por ter me dado força e ânimo para superar todas as etapas do curso e proporcionado a realização de um sonho o qual sempre busquei nos meus objetivos de vida.

A minha família que sempre me apoiou especialmente minha esposa que suportou minhas ausências e não poderia mencionar também meu irmão e amigo, por ter acreditado no meu potencial.

A todos os meus professores e tutores que estiveram comigo nessa caminhada, nos encorajando e ajudando a superar as dificuldades e desafios do curso.

A instituição Companhia Águas de Joinville por dar oportunidade de trazer novas tecnologias para os projetos desenvolvidos nas áreas de saneamento, as quais darão suporte a gerência de expansão de rede na qual faço parte, desejo aplicar todo meu conhecimento adquirido nesses anos como acadêmico da Engenharia Cartográfica e de Agrimensura, aplicá-las e disseminá-las no dia-dia da empresa, com trocas de experiências em campo, juntamente com seus fornecedores e outros profissionais.

Enfim, agradecer a todos que contribuíram direto ou indiretamente no engajamento para o fim do ciclo acadêmico e de formação profissional.

RESUMO

Este trabalho aborda as técnicas e metodologias aplicadas ao assentamento de redes de esgoto, com o objetivo de reduzir impactos ambientais, acelerar a execução de projetos de rede coletora e incentivar a adoção de novas tecnologias nas obras de saneamento básico, seguindo normas que garantem precisão, qualidade e boas práticas da engenharia. Destacam-se os diversos benefícios econômicos e de eficiência, aplicando o método de levantamento com drones equipados com tecnologia LiDAR (Light Detection and Ranging), permitindo a geração de dados e informações cruciais para as fases preliminares de estudos, projetos básicos e executivos na modelagem hidráulica das redes coletoras de esgoto.

A metodologia aplicada constitui uma alternativa promissora para auxiliar as etapas de projeto, execução e manutenção, dadas as complexidades encontradas no traçado das redes, como a presença de inúmeras redes já consolidadas, limitações de espaço para execução, proximidade de residências e a necessidade de preservar a integridade do pavimento asfáltico. Estes estudos são fundamentais para obter modelos digitais do terreno, gerados a partir de nuvens de pontos coletadas em áreas de interesse com drones de alta tecnologia, fornecendo informações indispensáveis para assentamentos de redes profundas e com declividades desafiadoras.

O levantamento topográfico preliminar e o monitoramento contínuo durante a obra, com dados convertidos segundo o modelo altimétrico HgeoHNOR2020 do IBGE, mostraram-se cruciais para o sucesso do método. O presente trabalho compara a viabilidade econômica do método LiDAR com métodos tradicionais de topografia, detalhando as etapas, insumos, serviços e especificidades de cada abordagem, além de avaliar os impactos sociais e ambientais do método convencional. As referências bibliográficas, dados coletados em campo e análises realizadas apontam que o uso de tecnologia LiDAR embarcada em drones traz benefícios significativos em termos de precisão, produtividade, custos e qualidade para projetos de modelagem hidráulica de redes de esgoto.

Palavras-chave: Implantação de redes de esgoto. LiDAR (Light Detection and Ranging)

ABSTRACT

This work addresses the techniques and methodologies applied to the installation of sewage networks, aiming to reduce environmental impacts, accelerate the execution of collector network projects, and encourage the adoption of new technologies in basic sanitation projects, following standards that ensure accuracy, quality, and engineering best practices. Key economic and efficiency benefits are highlighted through the application of surveying methods with drones equipped with LiDAR (Light Detection and Ranging) technology, enabling the generation of critical data and information for preliminary study phases, as well as basic and executive projects in the hydraulic modeling of sewage collection networks.

The applied methodology constitutes a promising alternative to support project, execution, and maintenance stages, given the complexities encountered in network layouts, such as the presence of numerous consolidated networks, limited space for execution, proximity to residential areas, and the need to preserve asphalt pavement integrity. These studies are essential for obtaining digital terrain models, generated from point clouds collected in areas of interest with high-tech drones, providing indispensable information for deep network installations with challenging slopes.

Preliminary topographic surveys and continuous monitoring during construction, with data converted according to the IBGE's HgeoHNOR2020 altimetric model, have proven crucial to the success of this method. This study compares the economic viability of the LiDAR method with traditional surveying methods, detailing each approach's stages, inputs, services, and specificities, in addition to evaluating the social and environmental impacts of the conventional method. Bibliographic references, field-collected data, and analyses conducted indicate that the use of LiDAR technology embedded in drones brings significant benefits in terms of precision, productivity, cost, and quality for hydraulic modeling projects of sewage networks.

Keywords: Sewage network implementation, LiDAR (Light Detection and Ranging)

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1** — Estação de tratamento de esgoto
- Quadro 1** — Dados de cobertura dos índices de esgoto do Brasil 2022
- Figura 2** — VANT Matrice 300 RTK (esquerda) e LIDAR Zenmuse L1 (direita).
- Figura 3** — Componentes do Sistema RPA-Remotely Piloted Aircraft System
- Tabela 1** — Vantagens e desvantagens do uso dos sistemas RTK e PPK.
- Tabela 2** — Padrão de Exatidão Cartográfica dos Pontos Cotados e do MDE, MDT e MDS para Produção de Dados Digitais
- Figura 4** — Fluxograma - levantamento topográfico para projeto e modelagem de redes de esgoto
- Figura 5** — Modelo Digital de Terreno (MDT)
- Figura 6** — Curvas de Nível
- Figura 7** — Modelo digital do terreno (MDT) com curvas de nível- loteamento
- Figura 8** — Projeto de rede coletora de esgoto
- Figura 9** — Processamento e correções da nuvem de pontos Agisoft metashape
- Figura 10** — Importando para Site Scan for ArcGIS
- Tabela 3** — Comparação do tempo e custos dos levantamentos por Topografia Convencional x Drone com LiDAR
- Tabela 4** — Comparação de custos por Topografia Convencional x Drone com LiDAR
- Quadro 2** — Acurácia típica de diferentes fontes para geração de modelos altimétricos
- Quadro 3** — Diferenças de aplicação entre LiDAR x método tradicionais

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- **ABNT** – Associação Brasileira de Normas Técnicas
- **APPs** – Áreas de Preservação Permanente
- **BIM** – Building Information Modeling
- **CAJ** – Companhia Águas de Joinville
- **CESAN** – Companhia Espírito Santense de Saneamento
- **GNSS** – Global Navigation Satellite System
- **HgeoHNOR2020** – Modelo de Conversão Altimétrica do IBGE
- **IBGE** – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- **IMU** – Unidade de Medição Inercial
- **LiDAR** – Light Detection and Ranging
- **MDS** – Modelo Digital de Superfície
- **MDT** – Modelo Digital de Terreno
- **Pav** – Pavimento
- **PEC-PCD** – Padrão de Exatidão Cartográfica de Pontos Cotados Digitais
- **PPK** – Post-Processed Kinematic
- **RPA** – Remotely Piloted Aircraft
- **RTK** – Real-Time Kinematic
- **SIG** – Sistemas de Informações Geográficas
- **SNIS** – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
- **TCC** – Trabalho de Conclusão de Curso
- **VANT** – Veículo Aéreo Não Tripulado

SUMÁRIO

PROBLEMA DE PESQUISA	10
1. INTRODUÇÃO	11
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA	11
1.2 OBJETIVO DO TRABALHO	12
1.3 JUSTIFICATIVA	12
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO	12
2. TEMA	13
2.1 DEFINIÇÃO DO TEMA	
2.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA	
3. PROBLEMA DE PESQUISA	13
3.1 O PROBLEMA DE PESQUISA	
3.1.1 DEFINIDO O PROBLEMA DE PESQUISA	
4. HIPÓTESES OU PRESSUPOSTOS	13
4.1 FORMULAÇÃO DE HIPÓTESES OU PRESSUPOSTOS	
5. JUSTIFICATIVA	14
5.1 IMPORTÂNCIA DA INVESTIGAÇÃO SOBRE O USO DE LIDAR EM REDES DE ESGOTO	
5.2 RELEVÂNCIA ECONÔMICA E EFICIÊNCIA	
6. OBJETIVOS	14
6.1 OBJETIVO GERAL	
6.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	
7. REFERENCIAL TEÓRICO	15
7.1 REVISÃO DA LITERATURA SOBRE O USO DE LIDAR EM ENGENHARIA CIVIL	15
7.2 APLICAÇÕES EM PROJETOS DE INFRAESTRUTURA SUBTERRÂNEA E REDES DE ESGOTO	16
7.3 COBERTURA E TRATAMENTO DE ESGOTO NO BRASIL	17
7.4 SANEAMENTO NO BRASIL	18
7.5 MÉTODOS TRADICIONAIS E INOVADORES COM USO DO LIDAR PARA IMPLANTAÇÃO DE REDES DE ESGOTO	19
7.5.1 PROJETO E EXECUÇÃO COM USO DO LIDAR	19

7.5.2 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS COM USO DO LIDAR	19
7.5.3 VANTAGENS E DESVANTAGENS DA TECNOLOGIA LIDAR	20
7.5.4 COMPARAÇÕES DOS LEVANTAMENTOS GNSS, TOPOGRAFIA CONVENCIONAL E LIDAR	21
7.5.5 INTEGRAÇÃO DO SISTEMA PPK E RTK COM O USO DO LIDAR	22
7.5.6 CONCEITO DE AEROFOTOGRAMETRIA E SUA RELAÇÃO COM O USO DO LIDAR	23
7.5.7 CURVAS DE NÍVEL, MODELOS DIGITAIS DE SUPERFÍCIE E DE TERRENO COM O USO DO LIDAR	24
8. METODOLOGIA	26
8.1 MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADOS	26
8.2 PROCEDIMENTO PRÉVIO AO LEVANTAMENTO PLANIALTIMÉTRICO COM LIDAR	29
8.3 USO DE LIDAR PARA LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO E MODELAGEM DIGITAL DO TERRENO	34
8.4 ANÁLISE DE CUSTO MÉTODO TRADICIONAL X MÉTODO COM LIDAR	41
8.5 ANÁLISE DA EFICIÊNCIA TRADICIONAL X MÉTODO COM LIDAR	43
8.5.2 EFICIÊNCIA NO PROCESSO DE COLETA E PROCESSAMENTO	43
8.5.3 IMPACTO NA QUALIDADE DOS DADOS	45
8.5.4 COMPARAÇÃO DE PRODUTIVIDADE	46
8.5.5 CUSTOS DE LONGO PRAZO E MANUTENÇÃO	46
8.6 AVALIAÇÃO DA DIMINUIÇÃO DE IMPACTOS SOCIAIS E AMBIENTAIS	47
9. DISCUSSÃO CRÍTICA	49
9.1 DESAFIOS DO USO DO LIDAR NO BRASIL	49
9.2 PERSPECTIVAS FUTURAS	49
9.3 SUGESTÕES PARA IMPLEMENTAÇÃO	50
10. CONCLUSÃO	51
11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	52

PROBLEMA DE PESQUISA

Como a integração de LiDAR embarcado em drones pode aprimorar a modelagem e a implantação de redes de esgoto em comparação com métodos tradicionais, considerando aspecto de precisão, eficiência e custos?

JUSTIFICATIVA:

A precisão e a eficiência na modelagem e implantação de redes de esgoto são essenciais para o sucesso desses projetos. A tecnologia LiDAR embarcada em drones pode oferecer uma alternativa mais eficaz em comparação com métodos tradicionais, como levantamento GNSS e topografia convencional. Além dos benefícios em termos de precisão e eficiência, a utilização de LiDAR pode proporcionar vantagens significativas relacionadas aos custos. Esta pesquisa visa explorar como o LiDAR pode reduzir os custos operacionais e melhorar a relação custo-benefício em projetos de redes de esgoto. A análise desses aspectos permitirá avaliar se a tecnologia LiDAR proporciona benefícios significativos em termos de custo, tempo e impacto geral na execução dos projetos.

1. INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA

A tecnologia LiDAR embarcada em drones tem revolucionado o setor de infraestrutura, especialmente na modelagem de redes de esgoto. Ao permitir a captura de dados de alta precisão com maior eficiência, essa tecnologia reduz significativamente os custos e o tempo de execução de projetos. Além disso, sua aplicação favorece a sustentabilidade, minimizando a necessidade de intervenções no solo e promovendo o uso inteligente de recursos naturais.

Nas últimas décadas, foram desenvolvidas novas ferramentas para aprimorar as atividades de construção, incluindo o uso de RPAs ou drones como são comumente reconhecidas. Essas aeronaves remotamente pilotadas permitem uma coleta de informações mais rápida, precisa e segura em áreas de difícil acesso, reduzindo o tempo total e o custo das tarefas de construção. Com isso, as novas tecnologias digitais têm sido cada vez mais utilizadas para aumentar a eficiência e garantir a qualidade dos projetos de construção. (Bresciani, Carvalho, & Moraes, 2020).

De acordo com Ferreira de Souza, Fabio(2020) O crescimento desordenado da população brasileira gera um processo de urbanização não sustentável e cria um aumento de moradias em locais sem infraestrutura adequada de saneamento. Nos últimos anos aumentou a concentração de residências nas periferias das grandes cidades e com isso um desafio em atender a população, devido às regiões demográficas com poucos recursos hídricos. A dificuldade de implementar infraestrutura de captação, tratamento de água e abastecimento, as necessidades de saneamento básico são fatores importantes para a saúde pública, principalmente no Brasil, a falta de tratamento de água, esgoto e coleta irregular de resíduos sólidos têm o potencial de exercer efeitos nocivos sobre o bem-estar físico, mental e social das pessoas. Além de ser um importante fator aos impactos ao meio ambiental. esgoto e coleta irregular de resíduos sólidos têm o potencial de exercer efeitos nocivos sobre o bem-estar físico, mental e social das pessoas. Além de ser um importante fator aos impactos ao meio ambiental.

De acordo com manual dos levantamentos topográficos para projetos da SANEAGO, LIDAR: Tecnologia que utiliza pulsos de laser para medir distâncias precisas entre um emissor de laser e um objeto alvo. É frequentemente usada para

criar mapas tridimensionais detalhados do ambiente. O LiDAR é especialmente útil para a criação de modelos 3D de alta resolução de áreas geográficas e para a detecção de objetos em diferentes cenários.

A introdução apresentará a importância do levantamento topográfico preciso em áreas de difícil acesso e o papel crescente da tecnologia LiDAR embarcada em drones. Será destacada a relevância da integração com redes geodésicas para melhorar a qualidade dos dados obtidos.

Aplicação da Tecnologia LiDAR embarcada em drones no Planejamento e Otimização de Redes de Esgoto em Áreas Urbanas demonstra o que é mais novo para as demandas de projetos, oferecendo mais robustez e maior precisão a respeito dos dados coletados para melhor design e precisão para estudo e implantação das redes por gravidade.

1.2 OBJETIVO DO TRABALHO

Este trabalho visa principal explorar o uso de LiDAR embarcado em drones para o desenvolvimento de projetos de redes de esgoto, destacando a eficiência da modelagem digital e a precisão na implantação das estruturas.

1.3 JUSTIFICATIVA

A crescente demanda por soluções eficientes em saneamento básico, aliada ao avanço das tecnologias de georreferenciamento, justifica a investigação do uso de LiDAR em projetos de redes de esgoto. A aplicação dessa tecnologia pode reduzir custos, acelerar processos e minimizar impactos ambientais, além de melhorar a precisão na coleta de dados.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este TCC está estruturado da seguinte forma: A seção 2 define e delimita o tema, a seção 3 apresenta o problema de pesquisa, a seção 4 discute as hipóteses e pressupostos, a seção 5 justifica a relevância do estudo, a seção 6 detalha os objetivos, a seção 7 aborda o referencial teórico, a seção 8 discute a metodologia, a seção 9 apresenta o cronograma e a seção 10 traz as referências bibliográficas.

2. TEMA

2.1 DEFINIÇÃO DO TEMA

O uso de LiDAR em drones para modelagem e implantação de redes de esgoto.

2.2 DELIMITAÇÃO DO TEMA

A aplicação do LiDAR será analisada em projetos de saneamento em áreas urbanas com alta densidade populacional.

3. PROBLEMA DE PESQUISA

3.1 O PROBLEMA DE PESQUISA

Como o uso de LiDAR embarcado em drones pode melhorar a precisão e a eficiência na modelagem e implantação de redes de esgoto?

3.1.1 DEFINIDO O PROBLEMA DE PESQUISA

O foco é investigar a viabilidade técnica e econômica da tecnologia LiDAR para redes de esgoto.

3.1.2 DELIMITANDO O TEMA

O estudo limita-se ao uso de drones equipados com LiDAR em áreas urbanas de difícil acesso.

4. HIPÓTESES OU PRESSUPOSTOS

4.1 FORMULAÇÃO DE HIPÓTESES OU PRESSUPOSTOS

A hipótese central é que a tecnologia LiDAR pode reduzir custos e aumentar a precisão na modelagem e implantação de redes de esgoto em comparação aos métodos tradicionais.

5. JUSTIFICATIVA

5.1 IMPORTÂNCIA DA INVESTIGAÇÃO SOBRE O USO DE LIDAR EM REDES DE ESGOTO

Investigando o uso de LiDAR, podemos abordar desafios críticos no saneamento urbano, contribuindo para soluções mais eficientes.

5.2 RELEVÂNCIA ECONÔMICA E EFICIÊNCIA

O uso de LiDAR promete eficiência econômica ao otimizar os recursos e tempo de execução em projetos de saneamento.

6. OBJETIVOS

6.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a eficácia da tecnologia LiDAR na modelagem e implantação de redes de esgoto.

6.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Comparar a precisão dos levantamentos LiDAR com os métodos tradicionais;
- b) Analisar a redução de custos com o uso de LiDAR;
- c) Avaliar o impacto ambiental das metodologias. Expandir a discussão com dados quantitativos concretos, relacionando a redução de intervenções no solo e a diminuição do uso de maquinário pesado.

7. REFERENCIAL TEÓRICO

7.1 REVISÃO DA LITERATURA SOBRE O USO DE LIDAR EM ENGENHARIA CIVIL

O LIDAR é considerado um sensor remoto ativo que possui a capacidade de coletar uma abundância de informações do terreno e dos demais objetos presentes. Por se tratar de um sensor ativo, o mesmo não sofre interferência pela falta de iluminação e nem dos efeitos produzidos pela projeção perspectiva presente numa fotografia aérea. O princípio de funcionamento está baseado na emissão pulsos LASER sob uma determinada taxa de frequência de repetição e numa taxa de varredura, geralmente do tipo perpendicular à direção da linha de voo. Dessa forma, o sensor LASER possui a capacidade de atingir múltiplas reflexões, ou seja, vários pulsos podem ser refletidos sob um mesmo objeto. Por isso, este aspecto constitui uma poderosa ferramenta para vários tipos de análise de dados (SANTOS, 2006).

O sistema de varredura laser (laser scanning) aerotransportado é tido como um método para a determinação de coordenadas tridimensionais de pontos na superfície da terra, conforme conceituado por Centeno:

O sistema laser Scanner é projetado para a obtenção das coordenadas tridimensionais de pontos de uma superfície, além do registro das dimensões, da cor natural e textura dos objetos alvos e das intensidades dos pulsos laser refletidos de milhares de pontos por segundo (CENTENO; MITISHITA, 2007).

O uso do LiDAR em engenharia civil tem revolucionado a coleta de dados topográficos, permitindo a obtenção precisa de informações tridimensionais, mesmo em condições desafiadoras. A tecnologia, que não depende da iluminação natural, é capaz de capturar múltiplas reflexões em diferentes superfícies, proporcionando um nível de detalhamento antes inalcançável. Conforme destacado por Centeno e Mitishita (2007), a capacidade do LiDAR de registrar dimensões, cores e texturas com alta precisão faz dele uma ferramenta indispensável para engenheiros e pesquisadores que buscam soluções inovadoras e eficientes para o planejamento e execução de projetos.

7.2 APLICAÇÕES EM PROJETOS DE INFRAESTRUTURA SUBTERRÂNEA E REDES DE ESGOTO

Cavassim et al. (2005), pontuaram que a aplicação dessa tecnologia está sendo estendida às mais diversas áreas, por exemplo, na engenharia de telecomunicações; para a obtenção de modelos de elevação que permitem estudos de propagação de ondas e posicionamento de antenas receptoras e transmissoras, ou na engenharia florestal; para a determinação de volume e altura de vegetação; estimativa de biomassa; remoção de cobertura vegetal; e no levantamento de áreas para estudo de viabilidade para projetos de infraestrutura.

Segundo informações da Geoscan (2024) O LIDAR é usado para criar modelos tridimensionais de áreas urbanas, ajudando no planejamento e desenvolvimento de novos projetos. Ele permite a análise detalhada de terrenos, ajudando a identificar possíveis problemas antes do início das obras.

Segundo o portal Águas de Camboriú (2023) A tecnologia e inteligência artificial invadiram as ruas de Camboriú. Ou melhor, o céu da cidade. Em uma iniciativa inédita e inovadora, a Águas de Camboriú está construindo um mapeamento aéreo, por meio de um escaneamento a laser, atualizando a topografia da cidade para utilizar nos projetos de esgotamento sanitário e abastecimento.

O trabalho, realizado por uma empresa especializada, utiliza feixes a laser e uma câmera fotográfica para mapear os bairros, detalhe por detalhe. O aerolevanteamento com LiDAR (Light Detection And Ranging) é uma tecnologia que visa a aquisição de dados de grupos de pontos 3D. Seu objetivo principal é a criação de Modelos de Superfície Digital (DSM).

Conforme Juarez Fontenelle, coordenador de engenharia da Águas de Camboriú, o objetivo é a produção deste mapa planialtimétrico da cidade, “extremamente preciso e útil para a elaboração do projeto de melhoria e implementação da rede de água e esgoto da cidade”, explica ele. “O sensor laser e uma câmera digital são acoplados no helicóptero, gerando os dados que vão compor os mapas, incluindo os terrenos e suas características, como vegetação, edifícios, infraestrutura, etc”, completa ele.

Outra vantagem do trabalho é a rapidez no levantamento e restituição das informações necessárias, reduzindo os prazos da elaboração de projetos e na tomada de decisões. Com isso, as equipes otimizam o tempo na criação de grandes projetos, como o esgotamento sanitário de Camboriú (ÁGUAS DE CAMBORIÚ, 2024).

Segundo a TPF Engenharia, "durante os serviços, a TPF Engenharia utilizou a tecnologia Building Information Modeling (BIM) para elaborar a modelagem paramétrica de alguns elementos, oferecendo completa associatividade bidirecional. Isso significa que uma mudança em qualquer ponto do modelo se reflete por todas as vistas do projeto, instantaneamente, sem que seja necessário o projetista atualizar manualmente tais

elementos. A tecnologia BIM também evita conflitos entre as diferentes disciplinas envolvidas e permite a obtenção rápida e precisa dos quantitativos de materiais. O principal software utilizado para este fim foi o Revit, porém outros softwares importantes como o AutoCAD Civil 3D, SanCAD e CypeCAD foram utilizados para otimizar os modelos de terreno, redes coletoras e estruturais. A modelagem da superfície a partir dos dados obtidos pelo LiDAR (Light Detecting and Ranging) possibilitou a obtenção de informações como as cotas e o comportamento de drenagem do terreno, bem como a realização de análises dinâmicas que propiciaram um profundo entendimento da superfície" (TPF Engenharia, 2024).

O uso do LiDAR em projetos de infraestrutura subterrânea e redes de esgoto mostra-se extremamente eficaz devido à sua capacidade de fornecer dados precisos e detalhados do terreno em diversos contextos. Essa tecnologia permite a criação de modelos tridimensionais que ajudam no planejamento urbano, identificando potenciais problemas antes do início das obras. Além disso, a rapidez na coleta e processamento dos dados contribui para a otimização dos prazos na elaboração de projetos, especialmente em áreas como esgotamento sanitário. A integração do LiDAR com outras tecnologias, como o BIM, facilita a modelagem e análise detalhada do terreno, permitindo uma melhor compreensão das condições topográficas e contribuindo para projetos mais eficientes e integrados.

7.3 COBERTURA E TRATAMENTO DE ESGOTO NO BRASIL

Segundo dados de 2018 do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), 83,6% dos brasileiros possuíam acesso ao serviço de abastecimento de água. Já na questão do esgotamento sanitário os percentuais caem consideravelmente, pois 53,2% da população era atendida com coleta de esgoto, enquanto 46,3% possuía tratamento de esgoto.

Lançado em 2017 pela ANA e pelo então Ministério das Cidades (atual Ministério do Desenvolvimento Regional), o Atlas Esgotos: Despoluição de Bacias Hidrográficas aponta que 38,6% dos esgotos produzidos no Brasil não são coletados, nem tratados. É a situação que pode ser percebida em casos de esgoto a céu aberto. Outros 18,8% dos esgotos até são coletados, mas são lançados nos corpos d'água sem tratamento. Já os 42,6% restantes são coletados e tratados antes de retornarem aos mananciais, o que é o cenário ideal.

FIGURA 01 – ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO

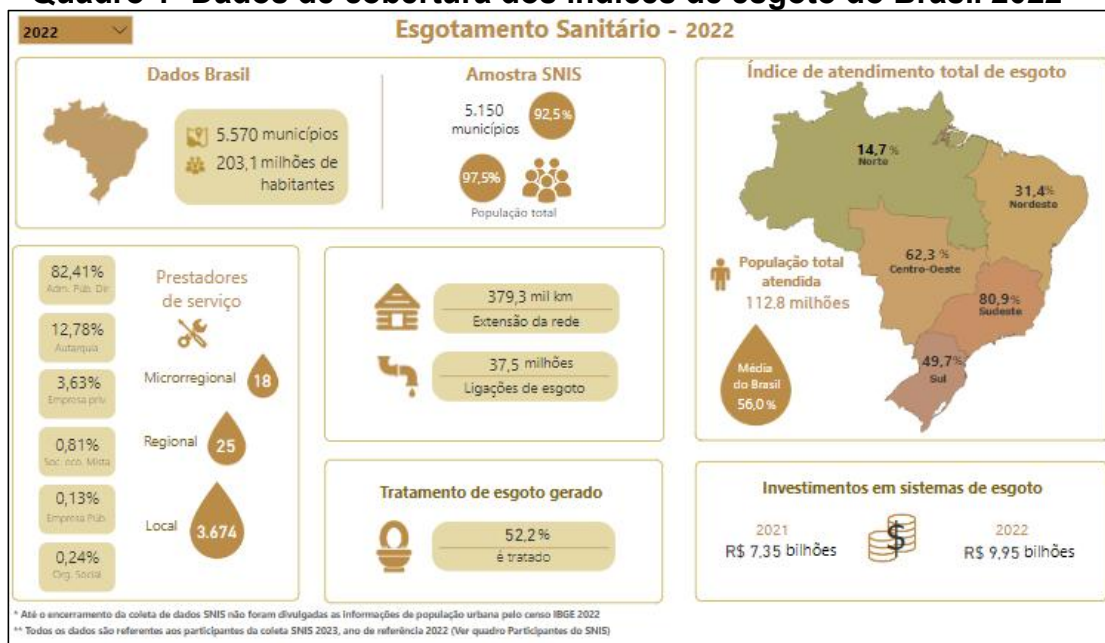


Fonte - trata Brasil 2021

7.4 SANEAMENTO NO BRASIL

Segundo os dados mais recentes do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), referentes ao ano de 2022, quase 10 milhões de habitantes vivem expostos a uma realidade precária de saneamento. Isso impacta a saúde e afeta atividades laborais, seja de estudo, produtividade no trabalho ou até mesmo na renda. Com relação aos dados de esgoto, aproximadamente 44% dos brasileiros carecem do serviço de esgotamento sanitário, isso representa mais de 90 milhões sem coleta e tratamento de esgotos.

Quadro 1 -Dados de cobertura dos índices de esgoto do Brasil 2022



Fonte - SNIS 2022

7.5 MÉTODOS TRADICIONAIS E INOVADORES COM USO DO LIDAR PARA IMPLANTAÇÃO DE REDES DE ESGOTO

Conforme Gomes e Ribas (2023)“ considerando a diversidade de tipos de vegetação e que cada terreno desses apresenta um tipo de característica, o projeto científico consiste na utilização de veículos aéreos não tripulados (Drone) com o sistema LiDAR embarcado com apoio topográfico com GPS Geodésico e Estação Total, e fazer uma análise comparativa equalitativa entre os métodos de levantamento planialtimétrico, tradicionais de topografia em relação ao sistema LiDAR com Drone embarcado para otimização desse processo, em que, foi desenvolvida uma metodologia aplicada para incrementar a precisão do levantamento planialtimétrico da área de vegetação. Assim, é possível de chegar a resultados equivalentes ou mais precisos do que o método tradicional de topografia, sendo o uso de Estação total e GPS geodésico”.

7.5.1 PROJETO E EXECUÇÃO COM USO DO LIDAR

O uso de LiDAR permite maior precisão e velocidade na fase de projeto e execução de redes de esgoto (FERREIRA, 2022).

Essa tecnologia facilita o levantamento de dados em áreas extensas, reduzindo significativamente o tempo necessário para a coleta de informações topográficas detalhadas. Além disso, o LiDAR gera modelos tridimensionais precisos que permitem uma análise mais assertiva do terreno, contribuindo para a eficiência no planejamento e na execução de obras. Outro benefício é a possibilidade de identificar obstáculos no subsolo, evitando retrabalhos e garantindo maior segurança durante as intervenções. Assim, o LiDAR otimiza não apenas o tempo, mas também os custos, tornando-se uma ferramenta essencial para projetos complexos e de grande escala.

7.5.2 MATERIAIS E EQUIPAMENTOS COM USO DO LIDAR

O LiDAR pode ser integrado com diferentes sistemas PPK e RTK, potencializando a precisão dos levantamentos (MARTINS, 2021).

Fisicamente, o sistema Laser Scanner Aerotransportado é constituído por um Sensor Lazer, uma Câmera fotográfica métrica digital, um Receptor GPS Geodésico L1/L2(a bordo da aeronave), dois Receptores GPS Geodésicos L1/L2 (em solo) e um Notebook para controle do sistema aerotransportado e Desktops para

processamento dos dados. Fazem parte também do sistema softwares específicos de controle dos trabalhos de campo e para tratamento de dados.

FIGURA 03 – VANT MATRICE 300 RTK (ESQUERDA) E LIDAR ZENMUSE L1 (DIREITA)



Fonte: Oliveira (2022).

Conforme Oliveira (2022) Matrice 300 RTK (autonomia de até 50 minutos), com um LASER scanner Zenmuse L1 (Figura 10) que integra módulo LIDAR, uma câmera RGB (20MP) e um sistema de IMU de alta precisão, conta com uma taxa de emissão de 240.000 pontos por segundo e suporta até três retornos, uma faixa de alcance de 450 metros (OLIVEIRA, 2022, p. 28).

7.5.3 VANTAGENS E DESVANTAGENS DA TECNOLOGIA LIDAR

Entre as vantagens estão a alta precisão e a capacidade de operar em áreas de difícil acesso; desvantagens incluem o custo elevado e a necessidade de softwares especializados (OLIVEIRA, 2023).

Destacando outras vantagens do LiDAR embarcado em drones estão a agilidade e a alta densidade de informações obtidas, que proporcionam um nível de detalhamento inigualável em comparação com métodos tradicionais. A capacidade de operar em áreas de difícil acesso, como regiões montanhosas ou densamente vegetadas, é outro diferencial significativo. No entanto, o custo inicial elevado, incluindo equipamentos e softwares de processamento, é uma barreira para sua adoção em projetos de menor escala. Além disso, a operação requer profissionais

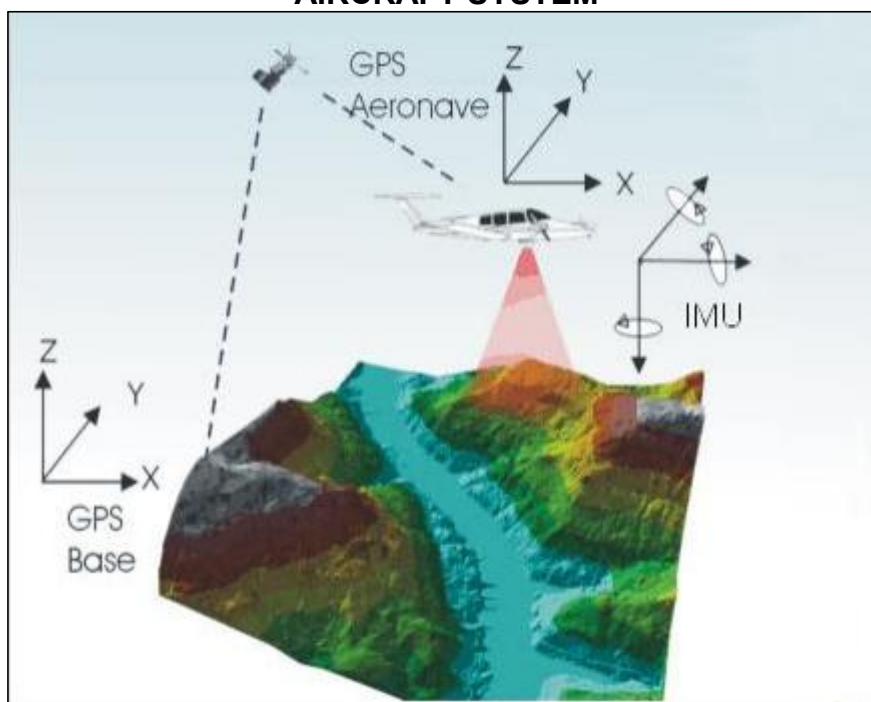
especializados e um planejamento cuidadoso para evitar interferências causadas por fatores climáticos. Apesar dessas limitações, o LiDAR embarcado em drones consolida-se como uma tecnologia indispensável em projetos que demandam precisão, rapidez e eficiência em grandes áreas.

7.5.4 COMPARAÇÕES DOS LEVANTAMENTOS GNSS, TOPOGRAFIA CONVENCIONAL E LIDAR

Comparando GNSS, topografia convencional e LiDAR, observa-se que o LiDAR oferece maior detalhamento, mas a um custo mais elevado (ROCHA, 2022).

Além disso, a topografia convencional, embora confiável e amplamente utilizada, é limitada pela velocidade de execução em áreas extensas e de difícil acesso. Já o GNSS apresenta alta precisão em levantamentos pontuais, mas carece de densidade de dados para modelagem detalhada do terreno. O LiDAR, por sua vez, combina eficiência e abrangência, capturando informações tridimensionais com rapidez e precisão, o que é essencial em projetos complexos. No entanto, a escolha do método depende das demandas específicas do projeto, equilibrando custos, precisão e agilidade.

FIGURA 03 – COMPONENTES DO SISTEMA RPA-REMOTEY PILOTED AIRCRAFT SYSTEM



Fonte: (ZANDONÁ et al., 2005)

7.5.5 INTEGRAÇÃO DO SISTEMA PPK E RTK COM O USO DO LIDAR

A tecnologia Global Navigation Satellite System (GNSS) engloba os sistemas de posicionamento global de satélites e determina a posição de um ponto em um sistema de coordenadas geográficas. Entre as tecnologias que empregam o sistema GNSS está o Real Time Kinematic (RTK). O RTK é um sistema que permite a correção imediata das observações. As informações são tratadas simultaneamente com o momento do levantamento dos dados. É a ação em "tempo real", o que resulta em obtenção de dados com maior rapidez. Este trabalho avalia a potencialidade do sistema RTK em levantamentos de cotas altimétricas para a realização de curvas de nível (MELO et al., 2011).

Drones um pouco mais modernos já possuem suporte para tecnologia RTK embarcada, nestes equipamentos, as coordenadas geográficas corrigidas pela Base são enviadas em tempo real para o drone durante a execução do voo. Nestes casos, o drone é operado sob as mesmas condições e limitações de um Rover. PPK é uma sigla para Post Processed Kinematic e esses equipamentos são muito parecidos com o RTK e a sua metodologia de operação é similar. Entretanto, o PPK não realiza a correção das coordenadas geográficas em tempo real e elas só podem ser corrigidas durante o processamento de dados. A Base desses equipamentos, assim como para o RTK, deve ser posicionada em local adequado, elevado e preferencialmente central. Em contrapartida, o Rover é normalmente operado embarcado em drones que possuem suporte para essa tecnologia e em levantamentos aéreos com Drones PPK não é necessário utilizar Pontos de Controle Em Solo (GCP's). Ainda que o processamento de dados para o PPK seja ligeiramente mais complexo e demorado que para o RTK, os resultados obtidos são muito semelhantes em termos de precisão geográfica (Geosense, 2021)

TABELA 1 – VANTAGENS E DESVANTAGENS DO USO DOS SISTEMAS RTK E PPK.

Sistema	Vantagens	Desvantagens
RTK (Real-Time Kinematic)	<ul style="list-style-type: none">- Alta disponibilidade no mercado.- Facilidade de operação em campo.- Correção de coordenadas geográficas em tempo real.- Redução substancial no tempo	<ul style="list-style-type: none">- Dependência de comunicação constante via ondas de rádio.- Possibilidade de interferências e perdas de sinal entre a Base e o Rover.- Limitações em áreas de densa vegetação, geomorfologia

Sistema	Vantagens	Desvantagens
	de processamento de dados. - Produção de mapas e modelos tridimensionais com precisão adequada e corrigida em tempo real.	acidentada, ou áreas com interferências eletromagnéticas. - Possível demora na estabilização do sinal de satélites pela Base. - Pode haver lacunas de posicionamento geográfico durante o voo.
PPK (Post-Processed Kinematic)	- Menor dependência de sinal de comunicação entre a Base e o Rover. - Maior segurança para trabalho em áreas extensas, com densa vegetação e terreno acidentado. - Menos problemas com estabilização de sinais de satélite. - Possibilidade de realizar levantamentos aéreos com Linha de Visão Estendida (EVLOS) ou Além da Linha de Visão (BVLOS). - Elimina a necessidade de Pontos de Controle em Solo (GCPs).	- Não realiza correção de coordenadas geográficas em tempo real; correção é feita apenas durante o processamento de dados. - Incremento relevante de tempo durante o processamento de dados. - Processo de correção pós-processamento pode ser laborioso e demorado, especialmente com grandes volumes de dados.

Fonte: Adaptado de Geosense (2021).

7.5.6 CONCEITO DE AEROFOTOGRAMETRIA E SUA RELAÇÃO COM O USO DO LIDAR

Conforme Gomes e Ribas (2023), "o sistema de varredura laser pode ser então dividido em três componentes principais: a unidade de medição a laser, encarregada de emitir e receber o sinal laser, um sistema de varredura e uma unidade de registro

de medições de apoio. O conjunto de medições de apoio, os dados do IMU e do GPS diferencial são medidos e armazenados simultânea e paralelamente à medição da distância pelo sistema laser.

7.5.7 CURVAS DE NÍVEL, MODELOS DIGITAIS DE SUPERFÍCIE E DE TERRENO COM O USO DO LIDAR

Os modelos digitais de elevação são muito utilizados para representar a forma natural do terreno, e a partir deste gerar as curvas de nível, que são muito utilizadas nos projetos que requeiram essa informação. Esses modelos podem retratar a topografia natural e hidrografia por meio da representação da bacia hidrográfica e todos os seus fluxos direcionais.

Os produtos cartográficos digitais, como o MDT, podem ser amplamente trabalhados em Sistemas de Informações Geográficas (SIG), a fim de produzir diversas análises minuciosas, por exemplo: geração de curvas de nível, perfil topográfico e declividade do terreno, Postiglioni (2020, p. 24)

Segundo informações da Geoscan (2024) O sensor LIDAR é amplamente utilizado para o mapeamento de terrenos e a criação de Modelos Digitais de Terreno (DTM). Isso é especialmente útil em áreas difíceis de serem acessadas por métodos tradicionais. A precisão dos dados de um drone com LIDAR permite a criação de mapas topográficos detalhados, essenciais para projetos de engenharia e construção.

O modelo digital de Superfície (MDS) e modelo digital do terreno (MDT) são utilizados para demonstrar o comportamento de cota de determinada área, servindo de estudo para retratar a topografia, hidrografia, estudo de vegetação, etc. O modelo adequado para representação da topografia é o MDT, no qual representando o comportamento de uma determinada superfície excluindo todo acréscimo de vegetação, estruturas artificiais; já o MDS representa a superfície que contém todos os objetos que estiverem sobre o terreno. Outro modelo derivado destes dois tipos de estudo é o Modelo Digital de Superfície Normalizado (MDSN) onde se faz a diferença entre o MDS e o MDT podendo ser utilizado para estudo da vegetação local (Botelho et al., 2005).

TABELA 2 – PADRÃO DE EXATIDÃO CARTOGRÁFICA DOS PONTOS COTADOS E DO MDE, MDT E MDS PARA PRODUÇÃO DE DADOS DIGITAIS

Classe de Exatidão	Ponto Cotado	MDE (Modelo Digital de Elevação)	MDT (Modelo Digital de Terreno)	MDS (Modelo Digital de Superfície)
Classe A (Alta precisão)	±0,30 m	±0,50 m	±0,50 m	±0,50 m
Classe B (Média precisão)	±0,60 m	±1,00 m	±1,00 m	±1,00 m
Classe C (Baixa precisão)	±1,00 m	±2,00 m	±2,00 m	±2,00 m

Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). NBR 13133:1994 - Execução de Levantamentos Topográficos. Rio de Janeiro: ABNT, 1994.

1. **Ponto Cotado:** Representa a precisão do levantamento pontual no terreno.
2. **MDE (Modelo Digital de Elevação):** Descreve a elevação da superfície terrestre considerando todos os objetos nela contidos.
3. **MDT (Modelo Digital de Terreno):** Reflete a elevação da superfície terrestre após a remoção de objetos como edificações e vegetação.
4. **MDS (Modelo Digital de Superfície):** Inclui todos os elementos na superfície, como vegetação e construções.

8. METODOLOGIA

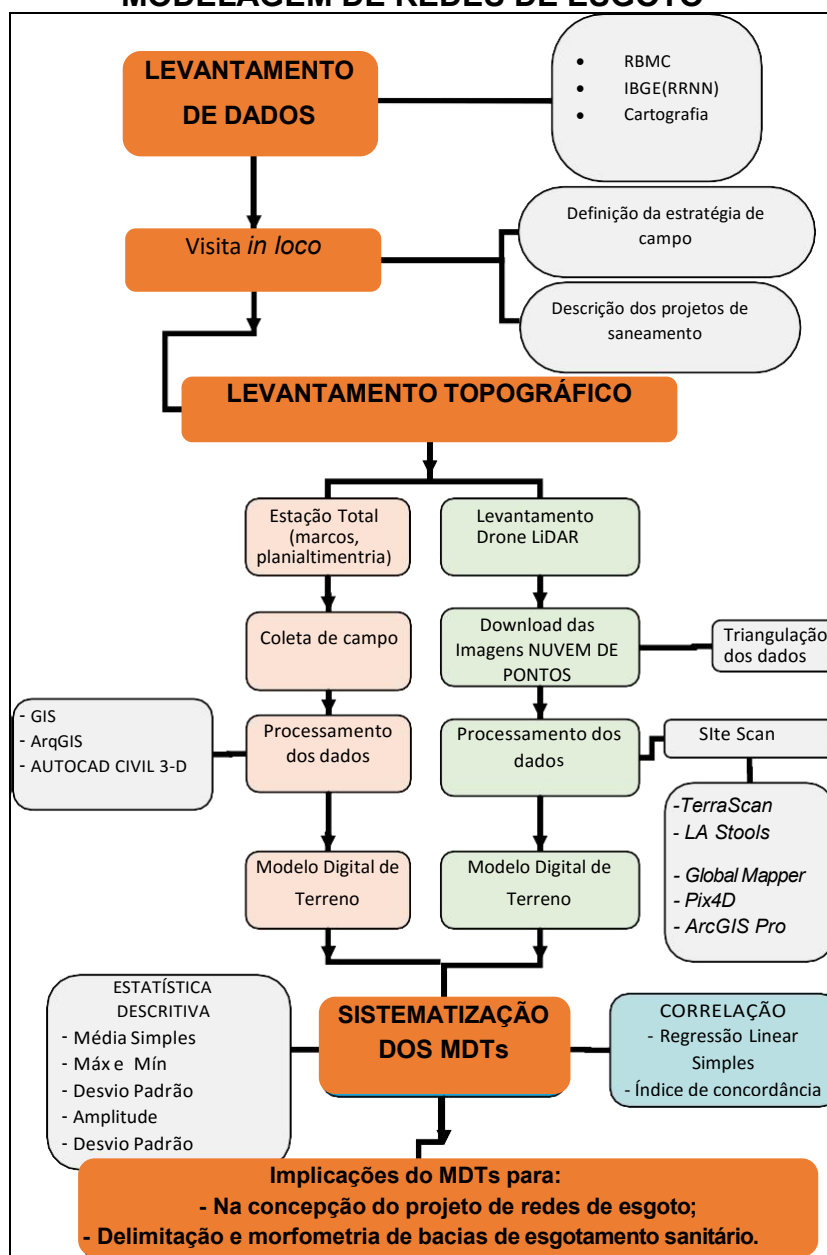
8.1 MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADOS

Nesta seção, serão descritos os métodos e técnicas empregados para a realização do levantamento topográfico e modelagem digital do terreno, assim como as análises comparativas de custos e impactos. A metodologia adotada integra tanto abordagens tradicionais quanto o uso de tecnologias avançadas, como o LiDAR, embutido em drones, para a obtenção de dados geoespaciais, e como esse método otimiza as novas tendências para adoção dos parâmetros necessários para elaboração dos projetos de engenharia fundamentada na modelagem hidráulica das redes de esgoto.

Para este estudo, utilizamos drones equipados com sensores LiDAR e sistemas de georreferenciamento RTK/PPK. Os levantamentos foram realizados em três etapas: planejamento de voo, coleta de dados e processamento em software especializado. Os resultados foram analisados quantitativamente, comparando tempo de execução, custos e precisão com métodos tradicionais.

No próximo fluxograma exibiremos procedimentos e etapas com o comparativo do levantamento com LiDAR embarcado para Aerofotogrametria por Aeronaves Remotamente Pilotadas-RPAs (também conhecidas como Veículos Aéreos Não Tripulados-VANTs e popularmente conhecidas como Drones) integradas com sistema RTK e levantamento GNSS para obtenção dos dados precisos dos MDT e MDS para fins de produtos topográficos que servirão de base para projetos, planejamento, modelagem hidráulica e execução de redes coletoras de esgoto.

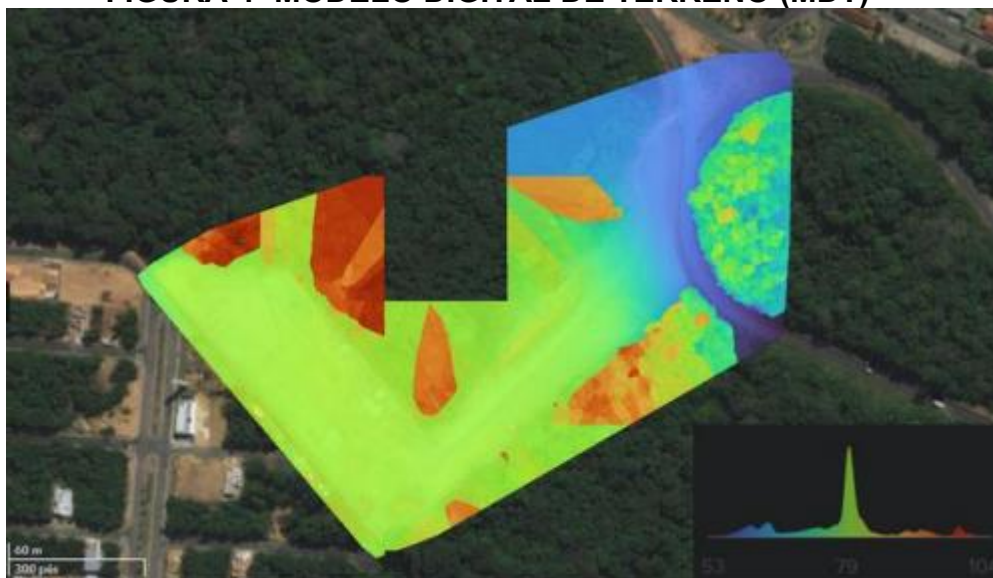
FLUXOGRAMA - LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO PARA PROJETO E MODELAGEM DE REDES DE ESGOTO



Fonte: Autor adaptado (2024)

Conforme(BERNARDO, Maria Emanuela, 2021), A partir das imagens coletadas pelo RPA, os dados foram processados e foram geradas as informações obtendo um resultado por MDT (Modelo Digital do Terreno) da área em questão. A representação da escala de cores é dada pelo modo Turbo, indicando tons frios (azul) para a parte mais baixa, verde para elevação mediana e tons quentes (vermelho) para a mais alta.

FIGURA 4 -MODELO DIGITAL DE TERRENO (MDT)



Fonte: SiteScan (2021)

O sistema é capaz de traçar curvas de nível com os parâmetros indicados pelo usuário, a figura abaixo mostra as curvas de nível imediatas obtidas pelo SiteScan com equidistância de 1 metros para linhas azuis e 5m para linhas verdes, em anexo está topografia processada.

FIGURA 5 -CURVAS DE NÍVEL



Fonte: SiteScan (2021)

8.2 PROCEDIMENTO PRÉVIO AO LEVANTAMENTO PLANIALTIMÉTRICO COM LIDAR

Antes de iniciar o levantamento planialtimétrico com LiDAR embarcado em drones, é essencial definir um modelo de conversão adaptado aos dados oficiais do IBGE. Primeiramente, é recomendado instalar bases RTK em marcos geodésicos que utilizem dados referenciais do IBGE, incluindo coordenadas no sistema SIRGAS 2000 e altitudes normais (físicas). Essas bases se comunicarão em tempo real com o sistema RTK do drone, permitindo correções instantâneas que, dependendo da área, podem ser realizadas simultaneamente com até três bases. Esse processo permite que o LiDAR gere uma nuvem de pontos georreferenciada e com altitudes ortométricas precisas, servindo como base para o levantamento planialtimétrico em redes que operam por gravidade, fundamentado no modelo geoidal oficial do IBGE.

Caso as bases RTK não sejam utilizadas, o procedimento de correção será feito via pós-processamento, adotando o modelo de conversão hgeoHNOR2020 para determinar as altitudes verticais de interesse. Esse modelo assegura precisão nas representações altimétricas, como curvas de nível, perfis longitudinais e marcos estratégicos materializados nas áreas de interesse, garantindo a consistência e acurácia dos dados ao longo de todas as fases do projeto, desde a execução e manutenção até o fim da vida útil do sistema.

“No Brasil, as altitudes físicas são obtidas pelo IBGE desde 1945, por meio de nivelamento geométrico entre as **Referências de Nível da Rede Altimétrica de Alta Precisão (RAAP)** e disponibilizadas no Banco de Dados Geodésicos (BDG). [...] Com a crescente adoção de sistemas de posicionamento via satélites, surgiram as altitudes geométricas, desvinculadas do campo gravitacional e menos adequadas para representar o escoamento de massas por gravidade, como no fluxo de água em grandes canais. Para resolver isso, o IBGE desenvolveu o hgeoHNOR2020” (IBGE, 2020).

Para realizar o levantamento com alta precisão, recomenda-se o uso de drones equipados com **PPK ou RTK**:

RTK (Real-Time Kinematic): Corrige as coordenadas em tempo real, ideal para levantamentos onde a comunicação constante é possível. No entanto, ele depende de uma base de comunicação contínua entre o drone e a estação em solo, o que pode ser limitado em áreas com interferência de sinal.

PPK (Post-Processed Kinematic): Realiza a correção das coordenadas após o levantamento, dispensando a necessidade de conexão constante com a estação base. Esse método é ideal para áreas de difícil acesso ou onde a comunicação em tempo real seja inviável, como regiões montanhosas ou densamente vegetadas.

Após a coleta dos dados, é necessário realizar a **triangulação dos pontos** da nuvem de pontos para georreferenciá-los com precisão ao modelo de referência geodésico. A triangulação permite alinhar os pontos capturados pelo LiDAR com o modelo oficial de conversão do IBGE, garantindo que cada ponto tenha coordenadas espaciais precisas e que correspondam ao **modelo ortométrico** (HGOHNOR2020). Esse processo assegura que as nuvens de pontos e os **Modelos Digitais de Terreno (MDT)** e **Modelos Digitais de Superfície (MDS)** estejam corretamente posicionados e georreferenciados para utilização em operações de corte/aterro e demais análises espaciais.

Como produto final, o levantamento gera a **nuvem de pontos georreferenciada** e os modelos MDT e MDS, alinhados conforme o modelo de conversão do IBGE para obtenção das **altitudes ortométricas**. Esses dados são adotados ao longo do levantamento, com marcos de referência materializados para conferências nas fases de projeto, execução e manutenção. A nuvem de pontos, detalhada por meio da triangulação, oferece uma representação precisa das elevações e superfícies do terreno, enquanto o MDT e o MDS possibilitam uma visualização e análise topográfica completa para atender aos requisitos técnicos e de precisão do projeto.

Importância da Planialtimetria em Projetos de Rede de Esgotamento Sanitário:

A planialtimetria é essencial em projetos de rede de esgotamento sanitário porque permite a determinação precisa das elevações e inclinações do terreno. Esses dados são fundamentais para o dimensionamento e a instalação de tubulações, garantindo que o escoamento dos efluentes seja eficiente e respeite as normas

técnicas. Além disso, a planialtimetria ajuda a identificar áreas críticas, como depressões ou elevações, que podem exigir soluções específicas, como estações elevatórias.

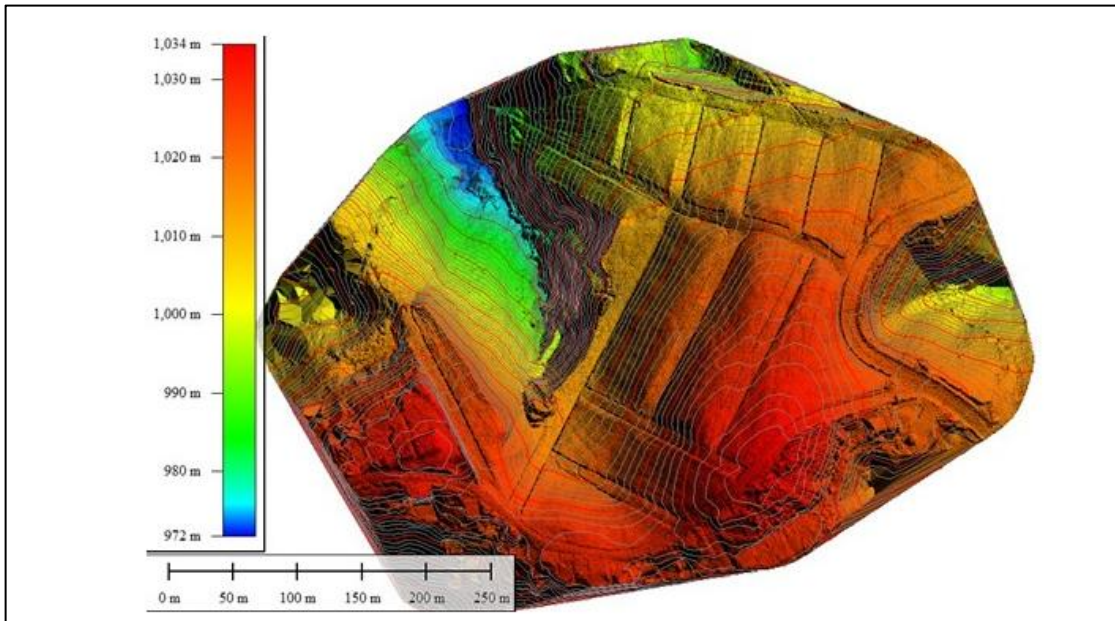
PARÂMETROS A SEGUIR:

1. **Precisão das Coordenadas X, Y, Z:** Essencial para garantir a correta implantação das tubulações.
2. **Curvas de Nível:** Importante para visualizar a topografia do terreno e planejar a inclinação das tubulações.
3. **Declividade do Terreno:** Define a inclinação mínima e máxima permitida para garantir o fluxo por gravidade.
4. **Distâncias entre Ponto de Controle:** Necessário para validar a precisão do levantamento.
5. **Referências de Nível:** Garantir que todas as medições estejam alinhadas a uma referência de nível (RN) confiável.
6. **Pontos de Controle Geodésico:** Devem ser usados para garantir que o levantamento esteja corretamente georreferenciado.

Na figura a seguir detalha um projeto de rede coletora no plano com as curvas de nível.

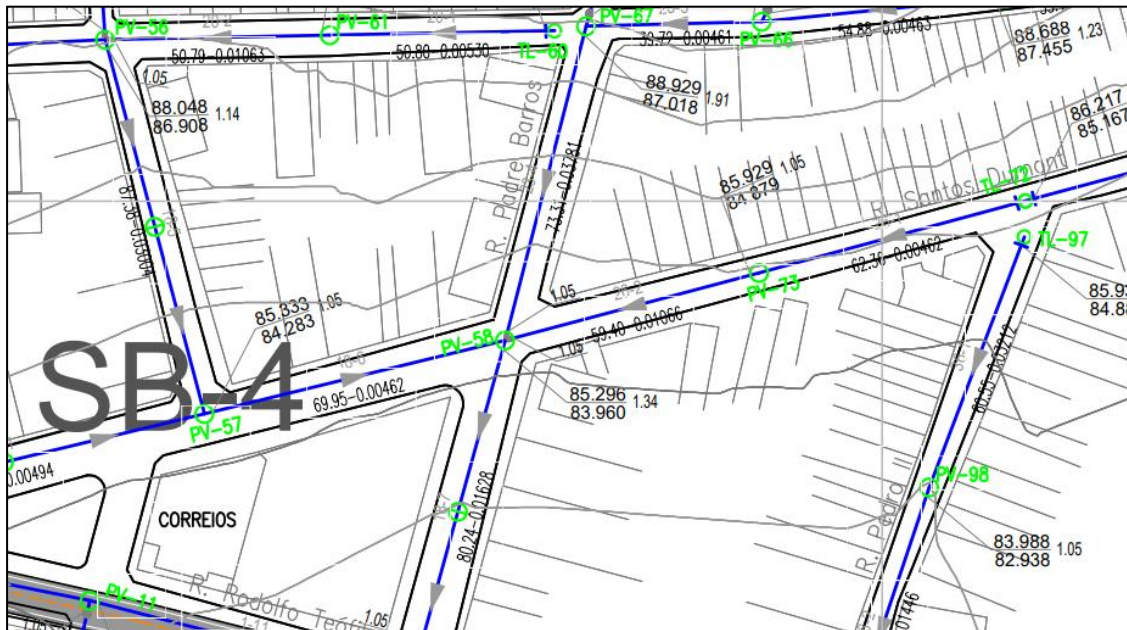
A seguir na figura 6 segue exemplo de uma Modelo digital do terreno (MDT) com curvas de nível e coluna vertical com a medição de escala de altura com tonalidade vermelha acima de 1000 metros e azul abaixo de 980m e escala horizontal com intervalo de 50 m.

FIGURA 6- MODELO DIGITAL DO TERRENO (MDT) COM CURVAS DE NÍVEL- LOTEAMENTO



Fonte: Mundogeo (2022)

FIGURA 6 -PROJETO DE REDE COLETORA DE ESGOTO



Fonte: CAGECE-Companhia de Água e Esgoto do Ceará (2021)

APLICAÇÃO DE PERFILAMENTO A LASER E GERAÇÃO DE MDT E CURVAS DE NÍVEL PELA CESAN

O Plano de Trabalho Específico da CESAN (Companhia Espírito Santense de Saneamento) descreve em detalhe o uso de tecnologias avançadas para perfilamento a laser utilizando o sistema aerotransportado LiDAR (Light Detection and Ranging). Esta metodologia é aplicada em áreas urbanas com o objetivo de gerar o Modelo Digital de Terreno (MDT) e curvas de nível com equidistância de 1 metro, permitindo maior precisão em análises topográficas e facilitando a execução de projetos de engenharia, como redes de esgoto e drenagem pluvial.

ETAPAS PRINCIPAIS DO PERFILAMENTO A LASER ENTRE AS PRINCIPAIS FASES DO TRABALHO DESTACAM-SE:

Perfilamento a Laser: Utilizando LiDAR, em escala 1:1.000, de acordo com o padrão PEC-PCD Classe A, obtendo uma densidade média de 10 pontos/m² e espaçamento entre pulsos de 30 cm, com superposição lateral mínima de 60%.

Rastreamento GNSS: Durante o voo, o rastreamento é feito em modo diferencial, com uso de estações de referência terrestres a uma distância máxima de 40 km da aeronave.

Processamento da Nuvem de Pontos: Após a coleta, os dados são processados para reconstrução da altimetria, utilizando o modelo geoidal homologado pelo IBGE para correção ortométrica.

Classificação e Edição: Os dados coletados são classificados e interpolados, com tratamento específico para elementos superficiais, áreas de água, e correções para ruídos e "NODATA".

Geração de MDT e Curvas de Nível: A partir da nuvem de pontos, é gerado o MDT de uma área total de 2.000 km², e posteriormente, as curvas de nível com equidistância de 1 metro, facilitando o detalhamento topográfico de áreas urbanas.

CONTROLE DE QUALIDADE E TRATAMENTO DE INCONSISTÊNCIAS:

A contratada também se compromete a apresentar os serviços em lotes e realizar o tratamento de inconsistências indicadas pelo controle de qualidade.

Este processo visa garantir alta precisão topográfica, o que é fundamental para o planejamento e execução de infraestruturas como redes de esgoto por gravidade e redes pluviais. O uso do LiDAR em projetos dessa natureza tem se mostrado eficaz

tanto em termos de tempo quanto de precisão, superando as limitações dos métodos tradicionais.

De acordo com o trabalho técnico e apresentação do palestrante, a redução de perdas de água é um desafio cotidiano para empresas de saneamento. Para a mitigação desse problema e melhoria dos indicadores de perdas acompanhados por essas Companhias, são realizadas diversas práticas em várias frentes, uma das principais, é a redução de perdas através de regularização de áreas vulneráveis em função do grande impacto positivo em volumes, controle da pressão na rede, faturamento, e além de tudo, responsabilidade social. Este trabalho visa o mapeamento rápido, de áreas irregulares que passarão pelo processo de regularização e/ou acompanhamento de áreas já regularizadas, com a utilização de drones. Os dados planialtimétricos obtidos a partir do levantamento aerofotogramétrico, poderão ser utilizados pelas áreas de manutenção, operação e engenharia para o desenvolvimento de estudos e projetos de abastecimento de água e coleta de esgoto, bem como na otimização da base cadastral da Companhia. Em relação às imagens aéreas, estas subsidiarão as áreas citadas anteriormente, acrescidas da área comercial para realização de estudos e acompanhamento da expansão territorial e demográfica das ocupações" (Rocha, 2022).

8.3 USO DE LIDAR PARA LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO E MODELAGEM DIGITAL DO TERRENO

O uso de LiDAR (Light Detection and Ranging) tem revolucionado o campo do levantamento topográfico e da modelagem digital do terreno, oferecendo uma precisão e uma eficiência superiores em comparação com métodos tradicionais. Conforme Almeida e Lima (2019), a tecnologia LiDAR utiliza pulsos de laser para medir a distância entre o sensor e a superfície do terreno, gerando um conjunto denso e detalhado de pontos tridimensionais.

APLICAÇÕES DE LIDAR:

- **Levantamento Topográfico:** LiDAR permite a coleta de dados topográficos com alta precisão e em grandes áreas de forma rápida e eficiente. A tecnologia é capaz de capturar detalhes do terreno que podem ser difíceis de obter com métodos tradicionais, especialmente em áreas de vegetação densa ou terrenos acidentados.
- **Modelagem Digital do Terreno (MDT):** A partir dos dados coletados, o LiDAR produz modelos digitais do terreno que representam a superfície terrestre

com alta resolução. Esses modelos são essenciais para a análise e visualização de características do terreno, planejamento de projetos e tomada de decisões.

VANTAGENS DO USO DE LIDAR:

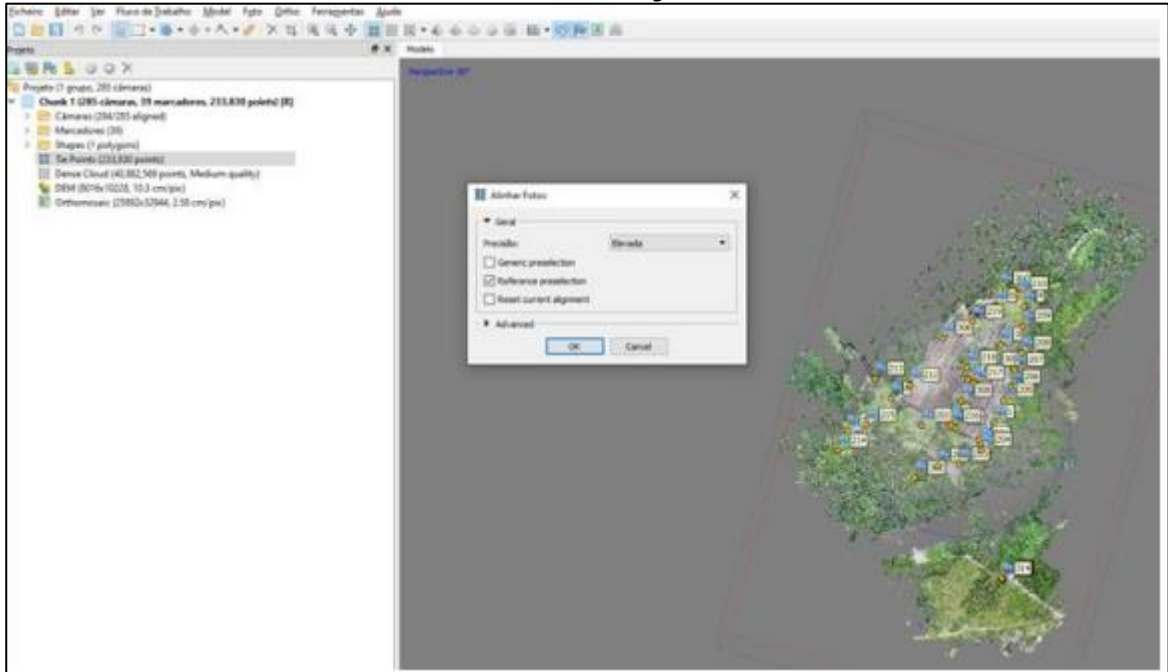
1. **Precisão e Detalhamento:** A tecnologia LiDAR oferece uma precisão elevada na captura de dados, com resolução de pontos que pode alcançar centímetros. Isso resulta em modelos digitais do terreno extremamente detalhados.
2. **Eficiência:** O tempo necessário para a coleta de dados com LiDAR é significativamente menor em comparação com métodos tradicionais, reduzindo a necessidade de trabalho de campo e permitindo a cobertura de grandes áreas rapidamente.
3. **Versatilidade:** LiDAR pode ser utilizado em diversas condições ambientais, incluindo áreas de difícil acesso, e é capaz de penetrar vegetação para capturar dados do solo.

O estudo realizado por Almeida e Lima (2019) demonstra que o uso de LiDAR para levantamentos topográficos proporciona uma melhoria substancial na qualidade dos dados e na eficiência do processo. A análise comparativa revela que, apesar dos custos iniciais elevados, o investimento em LiDAR é compensado pela precisão dos dados e pela redução dos custos operacionais associados a métodos tradicionais.

O LiDAR representa uma evolução significativa na metodologia de levantamento topográfico e modelagem do terreno, oferecendo vantagens em termos de precisão, rapidez e abrangência dos dados coletados. O investimento em tecnologia LiDAR é justificado pelos benefícios operacionais e pela qualidade dos produtos gerados.

O Alinhamento das Fotos (Figura 07), é a primeira etapa do processamento no software Agisoft Metashape, onde é realizado um processo de orientação interior das imagens e triangulação dos pontos utilizando a base de pontos com coordenadas geográficas conhecidas e as medidas angulares entre eles, para que as correções de erros sejam feitas e que se determine as coordenadas de cada pixel da imagem, considerando a altura e a variação de relevo da superfície. O resultado é a geração da nuvem de pontos esparsa ou pontos fotogramétricos (tie points) onde sua função é materializar o sistema de coordenadas do terreno. (LOPES, 2019).

FIGURA 7 -PROCESSAMENTO E CORREÇÕES DA NUVEM DE PONTOS



Fonte: Oliveira (2022).

1. Correções da Nuvem de Pontos (Pixels)

a) Filtragem e Classificação da Nuvem de Pontos

Objetivo: A nuvem de pontos bruta contém informações de diversos objetos presentes na área, como vegetação, edifícios, e o próprio terreno. A primeira etapa é filtrar e classificar os pontos, separando-os nas seguintes categorias:

- Vegetação
- Estruturas construídas (prédios, postes)
- Solo (o terreno em si)

Método: Softwares especializados fazem essa classificação automaticamente, mas ajustes manuais podem ser necessários para lidar com erros ou anomalias. Para criar:

- **MDT:** Somente os pontos do solo são considerados, removendo qualquer interferência de vegetação ou construções.
- **MDS:** Mantêm-se todos os pontos, incluindo vegetação e construções, para representar a superfície completa.

b) Correções Altimétricas (Coordenada Z)

Objetivo: A coordenada Z (altitude) é particularmente suscetível a erros de sensoriamento, que podem ser causados por interferências atmosféricas, qualidade do equipamento, ou imprecisões no registro dos pulsos do laser.

Método: A correção altimétrica pode ser realizada utilizando:

- **Modelos Geoidais:** Usados para corrigir as diferenças entre a altura elipsoidal (referenciada ao sistema de coordenadas) e a altura ortométrica (altitude real sobre o nível do mar).
- **Pontos de Controle em Campo:** Medições altimétricas feitas em campo servem de referência para ajustar a altura dos pixels na nuvem de pontos.

2. Correções Geodésicas (Coordenadas X, Y e Z)

a) Correção de Coordenadas Planimétricas (X, Y)

Objetivo: As coordenadas X e Y (longitude e latitude) dos pontos capturados pelo LiDAR precisam ser ajustadas para garantir que a nuvem de pontos esteja corretamente referenciada ao sistema geodésico padrão, como o SIRGAS 2000 no Brasil.

Método:

RTK (Real-Time Kinematic): Faz correção em tempo real, garantindo que as coordenadas X e Y estejam georreferenciadas durante o voo do drone ou outra plataforma de levantamento.

PPK (Post-Processed Kinematic): Processa os dados GNSS após o levantamento, ajustando as coordenadas com base em informações adicionais obtidas de estações de referência.

b) Correção Altimétrica (Coordenada Z)

Objetivo: Para a coordenada Z, o objetivo é garantir que as alturas representadas sejam precisas e consistentes com o sistema de referência altimétrico adotado (geralmente, altura ortométrica sobre o nível do mar).

Método:

- **Dados GNSS:** Durante o levantamento, os dados GNSS podem ser usados para melhorar a precisão da coordenada Z.

- **Modelos Digitais de Referência:** O uso de modelos geoidais, como o MAPGEO2015 no Brasil, é crucial para ajustar as alturas elipsoidais registradas pelo GNSS ao nível do mar.

c) Alinhamento e Registro

Objetivo: Garantir que a nuvem de pontos completa esteja devidamente alinhada e ajustada, minimizando deslocamentos e distorções que possam ocorrer durante o levantamento.

Método: Utilizam-se algoritmos de ajuste de nuvem de pontos para alinhar as diferentes seções, assegurando que todos os dados estejam no mesmo sistema de coordenadas e sem distorções.

3. Geração do MDT e MDS

a) Modelo Digital do Terreno (MDT)

Após a filtragem, apenas os pontos que correspondem ao solo (sem vegetação ou construções) são usados para criar o MDT, que representa a topografia "limpa" da área.

b) Modelo Digital da Superfície (MDS)

O MDS inclui todos os pontos capturados pelo LiDAR, como árvores e edificações, fornecendo uma visão completa da superfície.

4. Softwares Utilizados no Processo

Os seguintes softwares são amplamente utilizados para processamento de nuvens de pontos LiDAR, aplicação de correções nas coordenadas X, Y e Z, e geração de MDT e MDS:

TerraScan: Especializado em filtragem, classificação e correção das nuvens de pontos, com suporte para ajustes em coordenadas altimétricas (Z) e planimétricas (X, Y).

LAStools: Ferramentas eficientes para lidar com grandes volumes de dados LiDAR, incluindo filtragem, correções geodésicas e geração de MDT/MDS.

Global Mapper (com extensão LiDAR): Usado para visualização e edição de nuvens de pontos, permitindo ajustes em todas as coordenadas (X, Y e Z).

O **Global Mapper** também é bastante utilizado para processar nuvens de pontos e gerar tabelas de atributos, além de realizar análises altimétricas avançadas.

Perfis altimétricos e intervalos de cotas: O software permite criar perfis de elevação ao longo de linhas definidas ou em áreas específicas. Esses perfis podem ser ajustados para que os intervalos altimétricos sejam definidos em 0,01 m, o que é ideal para projetos que exigem precisão detalhada.

Tabelas de atributos: As informações sobre elevação, como cota máxima, mínima e média, são organizadas em tabelas de atributos e exportadas para análise posterior. Isso possibilita a criação de perfis precisos que podem ser usados como dados de entrada em cálculos volumétricos.

Cálculo de volumes e áreas 3D: O Global Mapper possui ferramentas específicas para a análise de volume de terreno. A partir dos perfis e das cotas altimétricas organizadas em intervalos de 0,01 m, o software calcula o volume de terra necessário para operações de corte e aterro, facilitando o planejamento de obras de infraestrutura como redes de esgoto.

Pix4D: processa nuvens de pontos LiDAR e permite correções de dados GNSS (RTK/PPK) para maior precisão nas coordenadas.

ArcGIS Pro: Software amplamente utilizado para análise espacial e correções geodésicas, possibilitando integração de dados LiDAR com outras fontes geoespaciais.

Esses softwares fornecem ferramentas para realizar as correções necessárias nas três dimensões (X, Y, Z) e garantir a criação de produtos confiáveis e precisos, como o MDT e o MDS, fundamentais para aplicações topográficas e de engenharia.

O **ArcGIS Pro** é uma das plataformas mais robustas para análise geoespacial, incluindo cálculos altimétricos e modelagem de superfícies 3D.

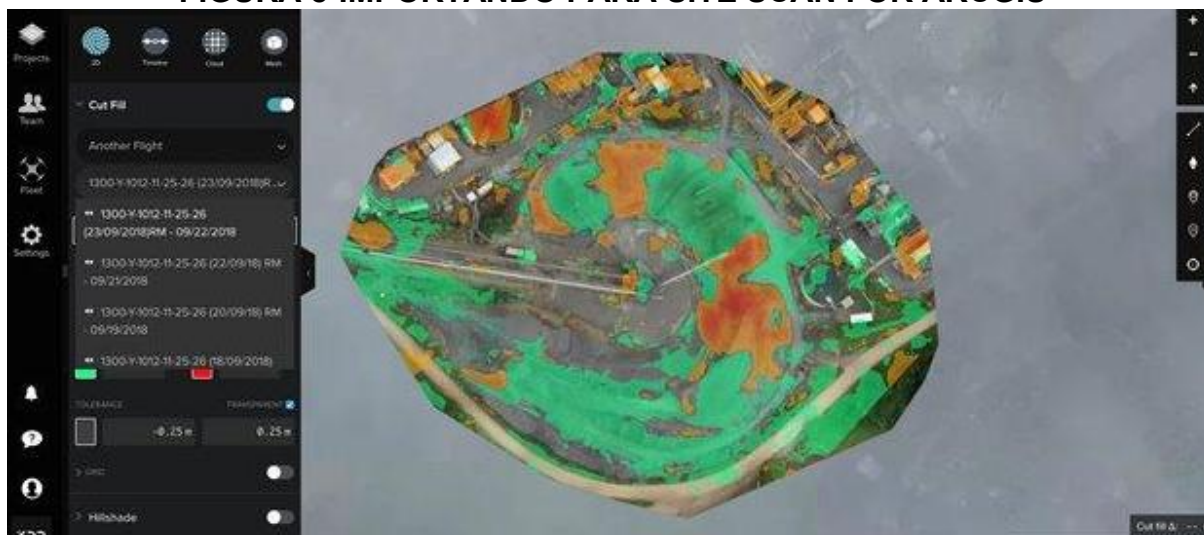
Perfis altimétricos e tabelas de atributos: Através das ferramentas de análise de superfície, o ArcGIS Pro permite a criação de perfis altimétricos detalhados com intervalos específicos de 0,01 m. Esses perfis podem ser exportados para tabelas de atributos que contêm informações como elevação mínima, máxima, média, bem como coordenadas e outras métricas importantes.

Análise volumétrica: O ArcGIS Pro utiliza essas tabelas de atributos e perfis altimétricos para calcular volumes de terrenos. As ferramentas de Cut/Fill (corte e aterro) calculam o volume de material necessário para nivelamento ou escavação, usando as informações detalhadas dos perfis.

Integração de camadas e dados 3D: O ArcGIS Pro permite integrar diversas camadas geoespaciais, como MDT, MDS, e dados LiDAR, para calcular volumes com precisão. A organização dos valores altimétricos em intervalos de 0,01 m ajuda a melhorar a precisão dos cálculos de área e volume.

O Site Scan Manager for ArcGIS pode executar medições de Corte/Aterro para objetos de drone tridimensionais criados pelo programa. As medições de corte/aterro são uma análise comum realizada para produtos raster tridimensionais. Um raster de elevação é 'fatiado' horizontalmente usando um plano de elevação consistente ou outra entrada de elevação. Todas as áreas elevadas acima do plano são consideradas medidas de 'corte', enquanto depressões abaixo do plano são consideradas medidas de 'preenchimento'" (Esri, 2024).

FIGURA 8-IMPORTANDO PARA SITE SCAN FOR ARCGIS



Fonte: Esri (2024).

8.4 ANÁLISE DE CUSTO MÉTODO TRADICIONAL X MÉTODO COM LIDAR

Silva et al. (2016) relataram que a topografia tradicional por meio do uso da Estação Total e até mesmo tecnologia GNSS é uma técnica bastante empregada para levantamentos de alta precisão. No entanto, nos últimos anos, tecnologias de sensoriamento remoto vêm ganhando espaço, uma vez que proporcionam resultados mais rápidos e precisos, como o VANT que é capaz de gerar MDT de alta acurácia.

A análise de custos entre métodos tradicionais de levantamento topográfico e o uso de tecnologia LiDAR é essencial para avaliar a viabilidade econômica e a eficiência dessas metodologias. Segundo Almeida e Lima (2019), a comparação entre esses métodos revela diferenças significativas em termos de custos operacionais e benefícios.

Método Tradicional: Os métodos tradicionais de levantamento topográfico, como a topografia convencional e o uso de sistemas de GNSS (Global Navigation Satellite System), envolvem a coleta de dados por meio de medições diretas no campo. Esses métodos geralmente requerem mais tempo para a execução das medições e mais equipes no campo. O custo dos equipamentos tradicionais, como teodolitos e estações totais, também pode ser elevado, e os custos associados à mão de obra são significativos devido ao tempo prolongado necessário para completar o levantamento.

Método com LiDAR: A tecnologia LiDAR, por outro lado, oferece um processo mais eficiente e rápido para o levantamento topográfico. Conforme descrito por Almeida e Lima (2019), o LiDAR permite a coleta de dados em grandes áreas de forma automatizada, reduzindo o tempo de campo e a necessidade de intervenções manuais extensivas. Apesar do alto custo inicial dos equipamentos LiDAR, como scanners aéreos e drones equipados com sensores LiDAR, o retorno sobre o investimento é positivo devido à redução significativa nos custos de operação e processamento de dados. O LiDAR também reduz a necessidade de revisões e correções no campo, contribuindo para a eficiência geral do projeto.

A análise comparativa dos custos revela que, enquanto o investimento inicial em tecnologia LiDAR pode ser maior, os benefícios a longo prazo incluem uma redução significativa nos custos operacionais e uma melhoria na qualidade dos dados obtidos. O LiDAR proporciona um nível de precisão e detalhamento superior, o que pode

reduzir custos adicionais associados à correção de erros e à necessidade de levantamento adicional.

Em resumo, a adoção da tecnologia LiDAR para levantamento topográfico pode oferecer uma vantagem econômica ao reduzir o tempo e o custo total de operação em comparação com métodos tradicionais, embora o investimento inicial possa ser mais elevado. A escolha entre métodos deve considerar tanto os custos iniciais quanto os benefícios operacionais e a precisão dos dados fornecidos pela tecnologia.

Nas tabelas a seguir demonstra um comparativo de custo, produtividade e eficiência entre Topografia Convencional x Drone com LiDAR de um levantamento planialtimétrico para uma área de 70.000m².

TABELA 3 – COMPARAÇÃO DO TEMPO E CUSTOS DOS LEVANTAMENTOS POR TOPOGRAFIA CONVENCIONAL X DRONE COM LIDAR

Etapa	Topografia Convencional	Drone com LiDAR
Levantamento	15h00 (3 dias)	04h30
Processamento	08h00 (1 dia)	18h00
Total do tempo de operação	23h00	22h30

Fonte: Adaptado de Jesus e Oliveira (2024)

TABELA 4 –COMPARAÇÃO DE CUSTOS POR TOPOGRAFIA CONVENCIONAL X DRONE COM LIDAR

Etapa	Topografia Convencional	Drone com LiDAR
Equipamentos	R\$ 35.000,00	R\$ 60.000,00
Softwares	R\$ 2.000,00	R\$ 12.000,00
Mão de obra	R\$ 4.800,00(2 profissionais por 3 dias)	R\$ 1.200,00(1 profissional por 1 dia)
Total	R\$ 41.800,00	R\$ 73.200,00

Fonte: Adaptado de Jesus e Oliveira (2024)

Topografia Convencional: Refere-se ao uso de Estação Total ou métodos tradicionais de topografia, que requerem mais tempo de campo devido à necessidade de coleta ponto a ponto.

Drone com LiDAR: Apresenta maior custo de aquisição de equipamentos e software, mas ganha em tempo e precisão, especialmente em áreas de difícil acesso.

Área: 70 hectares, média de tempo e custos adaptados para essa área com base em práticas do mercado atual.

8.5 ANÁLISE DA EFICIÊNCIA TRADICIONAL X MÉTODO COM LIDAR

Segundo a Droneng (2020) existem pontos positivos e negativos tanto na topografia convencional quanto na topografia realizada com drones. Dentre as vantagens apontadas no estudo sobre a topografia com drones é a possibilidade de sua realização de forma remota, sem precisar sair do local e percorrer o terreno para capturar as informações, porém em alguns casos o projeto exige uma acurácia milimétrica que não pode ser atingida com os drones, como, por exemplo, projetos industriais, por esse motivo elas são metodologias complementares, pois é possível o uso de ambas para aumentar a precisão e rapidez ao projeto.

Método Tradicional: Levantamento tradicional depende muito de fatores como o clima, o que pode atrasar o cronograma do projeto. Além disso, a coleta de dados é manual, o que aumenta a chance de erros humanos e a necessidade de revisitas ao local para correções ou complemento de dados.

Método com LiDAR: Destaque que o LiDAR oferece dados mais completos e precisos em uma única coleta, com baixa interferência de fatores externos. O tempo de processamento de dados, embora demandante em termos computacionais, pode ser mais rápido e automatizado em comparação ao levantamento manual, já que o LiDAR gera modelos tridimensionais (MDT e MDS) diretamente da nuvem de pontos.

8.5.2 EFICIÊNCIA NO PROCESSO DE COLETA E PROCESSAMENTO

Coelho, Silva e Costa (2017) realizaram a comparação do MDT, realizado por VANT e por meio da topografia convencional (Estação Total). A partir dos resultados obtidos, verificaram que o MDT realizado pelo VANT apresentou precisão entre 5,7 e 11,7 cm em comparação com o levantamento realizado por meio da topografia convencional. Assim, o MDT gerado pelo VANT pode ser classificado como um produto com precisão e confiabilidade compatível com as tecnologias de topografia convencionais para levantamento altimétricos que exigem diferenças centimétricas.

Método Tradicional: O levantamento tradicional depende muito de fatores como o clima, o que pode atrasar o cronograma do projeto. Além disso, a coleta de dados é manual, o que aumenta a chance de erros humanos e a necessidade de revisitas ao local para correções ou complemento de dados.

Método com LiDAR: Destaque que o LiDAR oferece dados mais completos e precisos em uma única coleta, com baixa interferência de fatores externos. O tempo de processamento de dados, embora demandante em termos computacionais, pode ser mais rápido e automatizado em comparação ao levantamento manual, já que o LiDAR gera modelos tridimensionais (MDT e MDS) diretamente da nuvem de pontos.

QUADRO 1 - ACURÁCIA TÍPICA DE DIFERENTES FONTES PARA GERAÇÃO DE MODELOS ALTIMÉTRICOS

Método de coleta	Características principais	Exemplos de sistemas	Acurácia típica
Levantamento em Campo	Melhor acurácia;	DGPS	≤ 1 m
	densidade pequena (maior espaçamento);	Taqueometria (estação total)	1 mm - 10 cm
	alto custo	Nivelamento geométrico	≈ 1 mm
Imagem Estereoscópica	Densidade alta (menor espaçamento); pode ser semi ou totalmente automatizado; problemas em solo recoberto de vegetação	Foto aérea	0,1 m - 1 m
		Imagem Orbital (SPOT, ASTER)	10 - 20 m
Varredura Laser	GPS Integrado; Requer filtragem e reamostragem para o uso; pode penetrar na folhagem da vegetação e registra superfície vegetada, construída e solo	Laser Aerotransportado (Lidar)	0,2 - 1 m
		Plataforma Orbital (ERS, SRTM)	10 - 25 m

Fonte: Hengl et al., 2003

8.5.3 IMPACTO NA QUALIDADE DOS DADOS

Método Tradicional: Embora os métodos tradicionais possam fornecer alta precisão, a densidade de dados coletados geralmente é menor, especialmente em áreas grandes ou de difícil acesso. Isso pode resultar em menor detalhamento do terreno e na necessidade de mais tempo para garantir a precisão em pontos críticos do projeto.

Método com LiDAR: O LiDAR, por sua vez, coleta milhões de pontos com alta densidade, resultando em modelos mais precisos e detalhados, o que pode reduzir a necessidade de correções futuras e o retrabalho. Isso também pode prevenir erros em projetos subsequentes, como a construção de redes de esgoto, que dependem de informações geoespaciais precisas para evitar falhas de planejamento.

Para discutir o impacto na qualidade dos dados entre métodos tradicionais e o uso de LiDAR, as diferenças em precisão, densidade de dados e eficiência são fundamentais.

Os métodos tradicionais: como a topografia com estação total, podem alcançar uma alta precisão, com erros de cerca de 1,80 cm de RMSE. Contudo, a densidade de pontos coletados é significativamente menor. Isso é especialmente desafiador em áreas grandes ou de difícil acesso, onde os levantamentos tradicionais exigem muito mais tempo para garantir a precisão em locais críticos (Geofumadas, 2023).

Por outro lado, o **LiDAR** tem se mostrado uma revolução na coleta de dados geoespaciais, com sua capacidade de coletar milhões de pontos por hora. Isso resulta em modelos digitais extremamente detalhados e precisos, com RMSE de cerca de 1,74 cm. Além de sua alta densidade, o LiDAR também oferece uma enorme economia de tempo no campo e no processamento, reduzindo drasticamente o tempo necessário para capturar dados em comparação com métodos convencionais. Essa maior densidade de pontos também diminui a necessidade de correções futuras e retrabalho, beneficiando projetos de infraestrutura, como redes de esgoto, que exigem dados geoespaciais precisos para evitar falhas de planejamento (Geofumadas, 2023).

8.5.4 COMPARAÇÃO DE PRODUTIVIDADE

Rodrigues et al. (2018) Do ponto de vista operacional, verificou-se que a plataforma utilizada no aerolevante, oferece vantagens técnicas e econômicas (por moderação de tempo de levantamento em campo e pós-campo, bem como equipe reduzida) quando considerado aos métodos tradicionais de levantamento.

Método Tradicional: Um levantamento topográfico convencional em uma área de 100 hectares pode levar de 7 a 10 dias, dependendo da complexidade do terreno.

Método com LiDAR: Um levantamento LiDAR pode completar o mesmo levantamento em 1 a 2 dias, com uma densidade de dados muito maior e precisão elevada.

8.5.5 CUSTOS DE LONGO PRAZO E MANUTENÇÃO

A digitalização LiDAR normalmente envolve custos iniciais mais altos, principalmente devido à compra e manutenção de equipamentos avançados. No entanto, pode ser econômico para projetos de grande escala que exigem precisão, velocidade e segurança. A eficiência da digitalização LiDAR geralmente resulta em economia de tempo significativa, o que pode compensar o investimento inicial(Tan, 2023).

Topografia tradicional:

O equipamento de topografia tradicional é geralmente mais acessível em termos de custos iniciais. No entanto, podem ser incorridos custos em mão de obra para coleta manual de dados, principalmente para projetos maiores que exigem trabalho de campo mais extenso. Os métodos tradicionais de levantamento podem ser econômicos para projetos menores com restrições orçamentárias(Tan, 2023).

Método Tradicional: Embora custos iniciais do levantamento tradicional possam parecer mais baixos, os de manutenção de equipamentos e a possibilidade de retrabalhos aumentam os valores gerais do projeto ao longo do tempo. Também é importante mencionar os impactos a longo prazo de erros de levantamento que possam resultar em sobre custos na construção.

Método com LiDAR: O maior custo inicial da tecnologia LiDAR é compensado por sua longevidade e menores necessidades de manutenção, além da possibilidade de usar os dados coletados para múltiplas fases do projeto (planejamento, execução, monitoramento). Além disso, a precisão superior do LiDAR pode gerar economia ao reduzir a necessidade de ajustes posteriores.

QUADRO 2 - ANÁLISE QUALITATIVA E CUSTO DOS METODOS TOPOGRÁFICOS CONVENCIONAL E LIDAR AÉREO

Aspecto	LiDAR aéreo	Métodos Tradicionais
Exatidão	Alto	Moderado a Alto
Eficiência	Muito Alto	Moderado
Custo	Inicial mais alto, geral mais baixo	Inicial mais baixo, mais longo prazo
Melhor uso	Áreas grandes e complexas	Áreas pequenas e acessíveis

Fonte:(Blue Falcon Aerial, 2023)

8.6 AVALIAÇÃO DA DIMINUIÇÃO DE IMPACTOS SOCIAIS E AMBIENTAIS

O uso da tecnologia LiDAR para levantamento topográfico pode oferecer uma vantagem na mitigação dos riscos ambientais e sociais, no caso dos levantamentos das áreas que necessitam de avanço da implantação das redes coletora do sistema de esgoto nas fases de projetos e execução e ampliação, otimizando a modelagem hidráulica a partir do produto topográfico MDS e MDT que servirão de base para o projeto e estudo planialtimétrico para região de interesse. Do ponto de vista social e ambiental a coleta, transporte e tratamento do esgoto valorizam as áreas urbanizadas e levam saúde e bem-estar para a população bem como a despoluição das fontes de águas subterrâneas e superficiais e dos ecossistemas de modo geral, evitando que milhões de toneladas de matéria orgânica sejam despejados nos corpos hídricos.

A precisão e o detalhamento oferecidos pelo LiDAR possibilitam a identificação de áreas ambientalmente sensíveis e a elaboração de projetos que minimizam intervenções em tais locais, preservando ecossistemas críticos e evitando danos a terrenos frágeis, como corpos d'água, áreas de preservação permanente (APPs) e terrenos instáveis. Isso facilita a criação de projetos que minimizam intervenções nesses locais, reduzindo assim o impacto ambiental durante a construção e operação do sistema de esgoto.

A rapidez na coleta de dados proporcionada pelo LiDAR também contribui para a agilidade na execução dos projetos, reduzindo o tempo de obras e, conseqüentemente, os transtornos sociais, como o fechamento de vias e outros inconvenientes para a comunidade local.

Finalmente, a implementação de redes de esgoto com base em levantamentos LiDAR contribui para a sustentabilidade urbana a longo prazo, assegurando que o crescimento das cidades ocorra de maneira harmoniosa e sustentável, em consonância com a preservação ambiental.

Segundo Felisbino, Guerrero e Barra, Em muitos países, o LIDAR tem encontrado possibilidades de grande variedade de aplicações. Ele é benéfico para fins de planejamento, projeto, inspeção e manutenção de trabalhos de infraestrutura. Pode ser utilizado no planejamento de corredores viários e simulações de impacto ambiental. (FELISBINO; GUERREIRO; BARRA, 2019, p.20). Expand a discussão com dados quantitativos concretos, relacionando a redução de intervenções no solo e a diminuição do uso de maquinário pesado.

O uso da tecnologia LiDAR embarcada em drones oferece uma abordagem altamente eficaz e sustentável para a elaboração de projetos de redes coletoras de esgoto. Através da captura de nuvens de pontos georreferenciadas e de levantamentos planialtimétricos detalhados da área de interesse, o projeto atinge um nível de precisão que melhora significativamente a tomada de decisões relacionadas às cotas altimétricas, declividades, volumes de escavação e localização ideal de estações elevatórias. Essa precisão reduz a necessidade de ajustes posteriores, diminuindo o retrabalho e os custos associados ao transporte de materiais e ao uso de material de empréstimo.

Além dos ganhos técnicos e econômicos, o uso de drones com LiDAR minimiza os impactos ambientais, já que a redução de escavações e movimentações excessivas de solo contribui para a preservação da vegetação e dos ecossistemas locais.

O uso da tecnologia LiDAR permite que as obras sejam realizadas com maior rapidez e eficiência, minimizando interferências nas comunidades, como bloqueios de vias, poeira e ruídos. A precisão no planejamento otimiza a instalação das redes coletoras, melhorando a saúde pública e a qualidade de vida ao prevenir falhas no sistema de esgoto. Além disso, a adoção dessa tecnologia reforça o compromisso com práticas sustentáveis, integrando aspectos econômicos, ambientais e sociais, promovendo soluções que reduzem os impactos das obras e aumentam a qualidade dos projetos de infraestrutura sanitária.

9. DISCUSSÃO CRÍTICA

9.1 DESAFIOS DO USO DO LIDAR NO BRASIL

A aerofotogrametria constitui-se na principal técnica para elaboração de produtos cartográficos, devido aos seus métodos serem de completo domínio pelas empresas, sobretudo, quando comparada aos produtos gerados pelo imageamento orbital, ou por outra técnica de levantamento para fins cartográficos que utilizam a imagem orbital, interferometria SAR e laser scanner. A aerofotogrametria no Brasil é considerada elemento de segurança nacional e sob tal argumento seu emprego é rigorosamente controlado, de forma que esse controle se tornou num impedimento a sua plena utilização e até a legislação vigente restringe o número de empresas no mercado.(Costa,2008).

A implementação do LiDAR enfrenta desafios significativos no Brasil, especialmente devido ao alto custo de aquisição dos sensores e a dependência de tecnologias importadas. Além disso, a falta de padronização nas metodologias e de regulamentação clara dificulta a adoção em projetos públicos. Conforme destacado por Grenzdörffer et al. (2008), o uso de sistemas como GPS integrado a drones requer capacitação técnica para operação e processamento de dados, o que representa um gargalo em muitas regiões brasileiras.

9.2 PERSPECTIVAS FUTURAS

O uso de drones combinados com LiDAR e modelagem de terreno oferece novas possibilidades para aumentar a eficiência e reduzir custos em projetos de infraestrutura. Segundo Grenzdörffer et al. (2008), a integração de tecnologias inerciais e sensores avançados com navegação autônoma tem potencial para revolucionar áreas como agricultura, saneamento e monitoramento ambiental.

No Brasil, a evolução de softwares específicos e a maior oferta de capacitação profissional podem ampliar o uso do LiDAR em áreas urbanas e rurais, proporcionando avanços na sustentabilidade e no planejamento urbano (Montelo & Olive, 2021).

9.3 SUGESTÕES PARA IMPLEMENTAÇÃO

Para a implementação eficaz de sistemas LiDAR no Brasil, recomenda-se o uso de algoritmos de filtragem avançados, como o disponibilizado pelo software TerraScan, amplamente utilizado para remover pontos relacionados a vegetação e outros objetos acima do terreno. Segundo Schimalesky (2007), o processo de filtragem deve ser realizado em múltiplas etapas, garantindo que os dados finais sejam consistentes e precisos.

Primeiramente, é necessário um modelo triangular inicial (TIN) baseado nos pontos mais baixos, que é refinado com iterações para incorporar gradualmente pontos que representem fielmente a superfície terrestre. Além disso, quando necessário, ajustes manuais podem ser realizados para corrigir inconsistências, melhorando a acurácia final dos modelos gerados. Outro ponto crucial é a adoção de treinamentos técnicos para operadores e analistas que irão trabalhar com ferramentas como TerraScan e lidar com dados tridimensionais. Isso complementa os esforços de padronização e facilita a integração dessa tecnologia em projetos de saneamento e infraestrutura.

10. CONCLUSÃO

A tecnologia LiDAR embarcada em drones representa um avanço significativo para o setor de saneamento, especialmente na modelagem e implantação de redes de esgoto. Este trabalho evidenciou que, em comparação aos métodos tradicionais, o LiDAR proporciona maior precisão nos levantamentos planialtimétricos, cobrindo grandes áreas em menos tempo e reduzindo custos a longo prazo. A integração com sistemas como RTK e PPK e o uso de softwares especializados destacam-se como diferenciais para acelerar a entrega de resultados e aumentar a confiabilidade dos projetos.

Embora o custo inicial seja elevado, a análise realizada confirma que o retorno sobre o investimento é altamente compensador, dado o aumento na produtividade, a redução de erros humanos e a reutilização dos dados em diversas etapas do projeto. Essa eficiência não apenas impacta os custos econômicos, mas também reflete no desenvolvimento sustentável, ao minimizar intervenções ambientais e otimizar o uso de recursos naturais.

Os casos analisados, como o da CESAN e da Águas de Camboriú, demonstram que a adoção do LiDAR é viável e está se consolidando como padrão em concessionárias de saneamento, assegurando precisão e agilidade nos serviços. A regulamentação e os critérios definidos para o uso dessa tecnologia reforçam seu potencial como ferramenta indispensável para o planejamento e a execução de redes de esgoto.

Portanto, a incorporação de LiDAR em drones posiciona-se como uma solução estratégica e inovadora, capaz de transformar a engenharia de saneamento no Brasil. A continuidade do uso dessa tecnologia, aliada a investimentos em capacitação técnica e ampliação do acesso, permitirá enfrentar os desafios do setor com eficiência, qualidade e sustentabilidade.

11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, T. **Saneamento no Brasil: Desafios e Oportunidades**. São Paulo: Editora Água, 2018.

FERREIRA, M. **Uso de LiDAR em Projetos de Saneamento**. Rio de Janeiro: Editora Tec, 2022.

GONÇALVES, J. **Aerofotogrametria e LiDAR**. Florianópolis: Editora Geocart, 2022.
MARTINS, A. **Equipamentos Integrados com LiDAR**. Curitiba: Editora DroneTec, 2021.

NASCIMENTO, L. **Modelos Digitais com LiDAR**. Brasília: Editora Terra, 2021.
OLIVEIRA, R. **LiDAR: Vantagens e Desvantagens**. Belo Horizonte: Editora Geo, 2023.

PEREIRA, F. **Infraestrutura Subterrânea com LiDAR**. Recife: Editora Saneamento, 2021.

ROCHA, V. **Comparação de Métodos Topográficos**. Porto Alegre: Editora Levantamento, 2022.

SANTOS, E. **Tratamento de Esgoto no Brasil**. Rio de Janeiro: Editora Água, 2019.
SILVA, J. **Integração de Sistemas PPK e RTK com LiDAR**. São Paulo: Editora Geo, 2023.

Bresciani, E., Carvalho, C. M., & Moraes, M. V. A. **Tecnologias emergentes para a gestão territorial: uso de drones para o mapeamento de áreas urbanas**. Revista de Gestão Territorial, 2020. 9(1), 13-28).

BASTOS, Bruno da Cunha; ERCOLIN FILHO, Leonardo. **Utilização da tecnologia LiDAR em projetos de engenharia de infraestrutura viária**. In: Córdoba. XI Congreso Nacional y VIII Latino-Americano de Agrimensura, 2012.

CAVASSIM, Italo Junior; CENTENO, Jorge Antonio Silva; MITISHA, Edson
Aparecido. **Utilização de dados do varredor laser na cartografia urbana**. Boletim de Ciências Geodésicas, Universidade Federal do Paraná, v. 11, n. 2, p. 201-2019. Curitiba, 2005.

SOUZA, A. **Revisão do Uso de LiDAR na Engenharia Civil**. Salvador: Editora Construção, 2020.

GOMES, Henrique; RIBAS, Eduardo. **Levantamento planialtimétrico em trechos de vegetação**. Revista Paramétrica em trechos de vegetação. Revista Paramétrica, v. 15, n. 1, p. 04 e 10, jan./jul. 2023.

<https://www.blog.nuvemuav.com/post/qual-a-diferen%C3%A7a-entre-rtk-ppk-e-gnss>

GEOSCAN. Sensor LiDAR. Disponível em: <https://www.geoscan.com.br/sensor-lidar/>. Acesso em: 25 ago. 2024.

ÁGUAS DE CAMBORIÚ. Águas de Camboriú faz mapeamento aéreo da cidade com feixes a laser e câmera digital. Disponível em: <https://www.aguasdecamboriu.com.br/aguas-de-camboriu-faz-mapeamento-aereo-da-cidade-com-feixes-a-laser-e-camera-digital/>. Acesso em: 25 ago. 2024.

TPF Engenharia. **"Projetos do Sistema de Esgotamento Sanitário de Camaragibe para a BRK Ambiental."** 2024. Disponível em: <https://www.tpfengenharia.com.br>. Acesso em: 20 ago. 2024.

Geosense. (2021, setembro 17). RTK ou PPK: **Qual é a melhor opção para o mapeamento aéreo com drones?** Disponível em: <https://geosense.com.br/2021/09/17/rtk-ou-ppk-qual-e-a-melhor-opcao-para-o-mapeamento-aereo-com-drones/>

OLIVEIRA, Paulo Henrique Lima de. **Utilização de Drones e Análise Comparativa de Métodos de Aquisição: Fotogrametria e Laser Scanner.** [TCC]. Nome da Universidade, 2023. p. 23

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). NBR 13133:1994 - **Execução de Levantamentos Topográficos.** Rio de Janeiro: ABNT, 1994.

POSTIGLIONI, Gabriel Oliveira. **ESTIMATIVA DA SEÇÃO TRANSVERSAL E DO VOLUME DE VOÇOROCA USANDO AERONAVE REMOTAMENTE PILOTADA.** Brasília, dezembro de 2020.

ALMEIDA, F. A.; LIMA, R. S. **Levantamento topográfico com tecnologia LiDAR: uma análise comparativa.** Revista de Geociências, v. 58, n. 2, p. 129-144, 2019.

BERNARDO, Maria Emanuela Conceição. **Aplicação de aeronave remotamente pilotada (drone) em engenharia civil. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso** (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2021

MUNDOGEO. LiDAR embarcado em drone: **as vantagens da melhor solução tecnológica.** Disponível em: <https://mundogeo.com/2022/11/16/lidar-embarcado-em-drone-as-vantagens-da-melhor-solucao-tecnologica/>. Acesso em: 7 set. 2024.

COELHO, R. C.; DA SILVA, R. L.; SOUSA, R. S. Mapeamento topográfico, com utilização de Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) e topografia convencional. Revista Engenharia Civil e Tecnologia, v.1, n.1, 2017, s.p.

SILVA, W. F.; SILVA, L. S.; MALTA, E. A.; GONDIM, R. O.; WARREN, M. S. Avaliação de uso de Veículo Aéreo Não Tripulado — **VANT em atividades de**

fiscalização da Agência Nacional de Águas. Anais dos Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, João Pessoa, Brasil, p. 25-29, 2015.

SCHIMALESKY, Vanessa. **Avaliação da qualidade da informação altimétrica derivada da varredura a laser em uma região coberta por vegetação.** 2007. 136 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

DRONENG. **3 motivos para utilizar drones na Topografia.** 2020. Disponível em: <https://blog.droneng.com.br/3-motivos-para-utilizar-drones-na-topografia/>. Acesso em: 25 out. 2020.

JESUS, H. P.; OLIVEIRA, H. C. **Análise comparativa de levantamentos planialtimétricos: Topografia Convencional, GPS E Drone.** Goiás, 2018. 15 p. Trabalho de Conclusão Curso de Engenharia Civil da Universidade de Goiás.

GOMES DA ROCHA, Daniel. **Mapeamento e levantamento planialtimétrico para regularização de áreas com drones.** Digital Water, 15 set. 2022. Disponível em: <https://www.digitalwater.com.br/mapeamento-levantamento-planialtimetrico-regularizacao-de-areas-com-drones/>. Acesso em: 2 out. 2024.

Grenzdörffer, G. J., Engel, A., & Teichert, B. (2008). The photogrammetric potential of low-cost UAVs in forestry and agriculture.

Tan, R. (2023). **LiDAR Scanning vs. Traditional Surveying: A Comprehensive Comparison.** Aonic Blog. Disponível em: <https://www.aonic.com/blog/lidar-scanning-vs-traditional-surveying/>. Acesso em: 29 Set. 2024.

Blue Falcon Aerial. (2023). **Comparing Aerial LiDAR to Other Surveying Methods: Understanding the Pros and Cons.** Disponível em: <https://www.bluefalconaerial.com/comparing-aerial-lidar-to-other-surveying-methods-understanding-the-pros-and-cons/>

Geofumadas. (2023). **Accuracy and Efficiency in Traditional Surveying vs LiDAR.** Disponível em: <https://geofumadas.com/gis-cad-bim-resources/>

CESAN - Companhia Espírito Santense de Saneamento. Plano de Trabalho Específico para o Serviço de Perfilamento a Laser, Geração de Modelo Digital de Terreno e Geração de Curvas de Nível Equidistantes em 1m. Vitória, 2023.

ESRI. Site Scan Manager for ArcGIS: **Corte e aterro com drones.** Esri, 2024. Disponível em: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/3d-analyst/cut-fill.htm>. Acesso em: 18 out. 2024.