

PROCEDIMENTO PARA O USO DE DRONES NA INSPEÇÃO DE OBRAS CIVIS

Universidade Presbiteriana Mackenzie

Coordenadoria de Fomento à Pesquisa - Pró-reitoria de Pesquisa e
Pós-Graduação

Giovanna Derenzio Fernandes Ferreira

Sergio V. D. Pamboukian

Escola da Engenharia (EE)

<10417561@mackenzista.com.br>
<sergio.pamboukian@mackenzie.br>

RESUMO

O avanço das tecnologias aplicadas à engenharia civil tem impulsionado o uso de drones como ferramentas estratégicas para levantamentos, inspeções e monitoramentos de obras. Esses equipamentos permitem o acesso seguro a áreas de difícil alcance ou com risco elevado, reduzem o tempo de execução e produzem registros visuais de alta precisão. A integração com sensores embarcados, sistemas de georreferenciamento e softwares de modelagem tridimensional amplia as possibilidades de diagnóstico e análise técnica de edificações e estruturas. Este trabalho apresenta o desenvolvimento de um procedimento completo para inspeções técnicas com drones em obras civis, contemplando aspectos legais, operacionais e metodológicos. O processo descrito envolve desde o atendimento às normas vigentes e ao planejamento de voo até a coleta, processamento e interpretação dos dados obtidos. A metodologia proposta mostrou-se prática, confiável e eficiente, contribuindo para a modernização das rotinas de inspeção na engenharia civil e reforçando a importância de procedimentos padronizados para a obtenção de resultados consistentes.

Palavras-chave: drones; engenharia civil; inspeção técnica

ABSTRACT

The advancement of technologies applied to civil engineering has driven the use of drones as strategic tools for surveying, inspection, and monitoring of construction works. These devices enable safe access to hard-to-reach or high-risk areas, reduce execution time, and produce highly accurate visual records. The integration with onboard sensors, georeferencing systems, and three-dimensional modeling software expands the possibilities for diagnostics and technical analysis of buildings and structures. This study presents the development of a complete procedure for technical inspections with drones in civil works, covering legal, operational, and methodological aspects. The process includes compliance with current regulations, detailed flight planning, and subsequent data collection, processing, and interpretation. The proposed methodology proved practical, reliable, and efficient, enhancing safety, quality, and agility in inspection routines.

Palavras-chave: drones; civil engineering; inspection.

1. INTRODUÇÃO

Em um cenário de marcantes desafios na construção de edifícios, onde é imperiosa a necessidade de melhoria da produtividade, qualidade, desempenho e, preponderante, a redução de custos, é importante a preservação/recuperação de edificações existentes (Gomes; Lima, 2022).

Para um engenheiro civil, é essencial possuir uma gama de conceitos e teorias para a execução e diligência eficaz de projetos. Além disso, torna-se cada vez mais crucial incorporar novas tecnologias e ferramentas, como o uso de drones para a inspeção de construções. Isso se deve ao fato de que os projetos de um engenheiro demandam ações precisas para inspecionar de maneira satisfatória.

Atualmente, o uso de drones para a inspeção de instalações tem sido um tema abordado com frequência no ramo da Engenharia Civil (Gomes; Lima, 2022.), devido à praticidade, agilidade e qualidade no levantamento de manifestações patológicas. Porém, existe a necessidade de novas metodologias para o uso eficiente dessa tecnologia para a inspeção segura de construções.

Antes de realizar um voo, existe um procedimento de revisão de normas, cadastro do drone e do seu piloto e solicitação de autorizações de voo. Após essas etapas, ocorre o planejamento de voo, que inclui a definição dos objetivos da inspeção e o uso de software especializado para criar um plano de voo otimizado. Durante a execução do voo, o drone segue o plano predefinido, capturando imagens de alta resolução da construção. Sensores adicionais, como câmeras termográficas ou *Light Detection and Ranging* (LiDAR) podem ser utilizados para obter dados mais detalhados.

Após o voo, existe a etapa de processamento das imagens e geração de produtos para pesquisa e adequação de construções, onde engenheiros e operadores avaliam as imagens, identificando possíveis problemas ou anomalias. O resultado desse processo é um relatório de inspeção que orienta decisões sobre manutenção, reparos ou outras ações necessárias, aproveitando as vantagens da eficiência e segurança proporcionadas pelo uso de drones.

Esta pesquisa visa orientar a execução de inspeções utilizando drones, abordando desde a regularização e operação do equipamento até a coleta, processamento, avaliação e análise de dados visuais. O objetivo é aprimorar os processos existentes e promover os resultados obtidos, contribuindo para a eficiência e a qualidade das inspeções realizadas.

A Escola de Engenharia da Universidade Presbiteriana Mackenzie com a integração de outras unidades acadêmicas e instituições, visando a necessidade de aprimorar e desenvolver

novas metodologias para a inspeção de construções, está realizando a pesquisa denominada “Desenvolvimento de metodologias para inspeção de obras civis utilizando tecnologias inovadoras” com financiamento do Fundo Mackenzie de Pesquisa (MackPesquisa) da qual o estudo relatado neste artigo faz parte.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

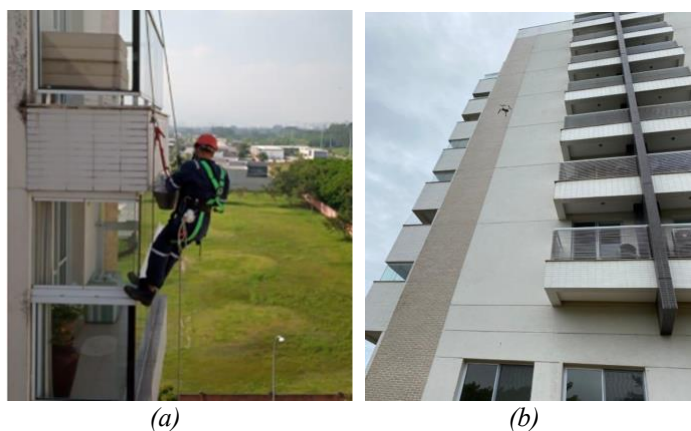
A Patologia das Construções é o campo da Engenharia Civil voltado ao estudo das anomalias, falhas e degradações que ocorrem em elementos construtivos ao longo do tempo de vida útil das edificações. Esse ramo visa diagnosticar, compreender e propor soluções para manifestações que comprometem o desempenho funcional, estrutural e estético das construções. As manifestações patológicas podem surgir por diversas causas, entre elas: falhas de projeto, execução inadequada, uso de materiais de baixa qualidade, sobrecarga estrutural, variações térmicas, ações de agentes químicos ou biológicos, movimentações do solo, envelhecimento natural dos materiais e, principalmente, ausência de manutenção preventiva. Entre os principais tipos de manifestações patológicas destacam-se as fissuras em elementos estruturais e não estruturais, recalques diferenciais, eflorescências, destacamento de revestimentos, presença de armaduras expostas, desagregação de concreto e manchas de umidade. Esses fenômenos, embora inicialmente sutis, podem evoluir para situações de risco, comprometendo a estabilidade da edificação e a segurança dos usuários (Ferreira et al, 2018).

As inspeções de estruturas são fundamentais para avaliar o estado de conservação, identificar manifestações patológicas e garantir a segurança e a durabilidade das edificações. Tradicionalmente, essas atividades são realizadas por meio de métodos convencionais, como o uso de andaimes, balancins, plataformas elevatórias ou acesso por cordas, que permitem o contato direto com a superfície inspecionada e a execução de avaliações táteis e visuais detalhadas. Embora eficazes em muitos casos, essas técnicas apresentam limitações quanto ao alcance, à segurança dos trabalhadores, ao tempo necessário e aos custos envolvidos (Rodrigues et al 2017).

Com o avanço das tecnologias aplicadas à Engenharia Civil, os drones têm se consolidado como opção eficiente para complementar as inspeções de estruturas, viabilizando a captura de imagens e dados em alta resolução, o mapeamento tridimensional e o uso de sensores embarcados, como câmeras termográficas e sistemas LiDAR, para a detecção de anomalias não visíveis a olho nu, permitindo o acesso a locais antes inacessíveis ao ser humano (Rakha; Gorodetsky, 2018). Essa abordagem amplia a cobertura das áreas inspecionadas, reduz riscos operacionais e agiliza o processo, embora ainda dependa de condições climáticas

favoráveis e de operadores qualificados. A Figura 1 mostra a inspeção de fachadas realizada de forma tradicional (a) e com o auxílio de drones (b).

Figura 1 – Inspeção tradicional (a) e com auxílio de drones (b)



Fonte: Pamboukian (2022)

A inspeção tradicional em obras civis é caracterizada pela observação direta e pelo uso de instrumentos manuais para verificação da integridade das estruturas. Esse método, amplamente adotado há décadas, baseia-se em visitas presenciais realizadas por engenheiros ou técnicos especializados, os quais utilizam ferramentas como câmeras fotográficas, trenas, esclerômetros, martelos de inspeção, além de andaimes ou plataformas suspensas para acesso a pontos elevados. Apesar de ser um método consagrado e normatizado, apresenta limitações significativas, como o alto tempo de execução, elevados custos logísticos, riscos à integridade física dos inspetores e dificuldades de acesso a áreas de difícil alcance.

A inspeção com drones surge como uma alternativa tecnológica eficiente, segura e precisa para complementar a inspeção tradicional. Esses dispositivos são capazes de sobrevoar e capturar imagens em alta resolução de fachadas, coberturas e elementos estruturais, mesmo em áreas confinadas ou de risco. Equipados com sensores ópticos, térmicos e LiDAR, os drones permitem detectar manifestações patológicas como fissuras, infiltrações e deslocamentos com elevado grau de detalhamento e sem a necessidade de contato físico com a estrutura. Além disso, os dados obtidos podem ser georreferenciados, visualizados em ortomosaicos ou modelos 3D e analisados em softwares especializados, proporcionando diagnósticos técnicos mais completos e rastreáveis (Rakha; Gorodetsky, 2018).

As aplicações dessa tecnologia são amplas: inspeção de fachadas, coberturas, pontes, viadutos, encostas, barragens, torres de transmissão, estruturas industriais, áreas de risco e áreas de difícil ou perigoso acesso. O uso de câmeras termográficas, por exemplo, permite detectar variações de temperatura que indicam umidade, perda de eficiência energética ou falhas em revestimentos, sem a necessidade de contato direto com a estrutura (Garrido et al, 2020).

O acompanhamento de obras com drones pode ser feito com voos repetidos periodicamente nas mesmas rotas, garantindo registros temporais comparáveis e permitindo análise de progresso físico e conformidade com o projeto (Nwaogu et al., 2023). Já os levantamentos topográficos aplicam fotogrametria e/ou LiDAR em missões de varredura horizontal, gerando Modelos Digitais de Terreno (MDT) e de Superfície (MDS) de alta acurácia posicional (Sun, 2023).

Além dos sensores de imagem, os drones contam com sistemas de geolocalização embarcados, como o Sistema Global de Navegação por Satélite (*Global Navigation Satellite System* - GNSS), que inclui constelações de satélites *Global Positioning System* (GPS), GLONASS, Galileo e BeiDou. Esses sistemas fornecem coordenadas geográficas precisas, permitindo o georreferenciamento dos dados obtidos. Isso garante que as imagens capturadas possam ser mapeadas com exatidão, associadas ao terreno real e reaproveitadas em inspeções futuras. O uso de GNSS também possibilita a execução de voos automatizados, com rotas programadas e repetíveis, o que é essencial para comparações temporais em inspeções periódicas (DECEA, 2023).

Em relação ao voo, o drone pode seguir rotas horizontais ou verticais de observação. O plano de voo horizontal deve ser utilizado quando é realizada a inspeção de estruturas como pavimentos, redes de transmissão de energia, placas fotovoltaicas em fazenda solar, tabuleiros de pontes etc. O voo horizontal também é utilizado para acompanhamento de obras (voos periódicos para acompanhamento da evolução da construção) e mapeamento topográfico de terrenos, entre outras aplicações. A inspeção vertical é utilizada principalmente para inspeção de fachadas, torres e outras estruturas verticais.

Nas estruturas horizontais, incluem-se aplicações como inspeção de linhas de transmissão, avaliação de pavimentos, inspeção de tabuleiros de pontes, acompanhamento de obras e levantamentos topográficos. A inspeção de linhas de transmissão consiste no monitoramento de todo o traçado, incluindo torres, cabos e isoladores, por meio de voos lineares paralelos ao percurso, capturando imagens de alta resolução e dados termográficos para identificar desgaste, pontos de superaquecimento ou vegetação invasiva (Zhou, 2022). A avaliação de pavimentos abrange rodovias, pistas e pátios industriais, sendo realizada com missões em malha (*grid*) com sobreposição de imagens de 70% a 80%, uso de pontos de apoio GNSS e geração de ortomosaicos e modelos digitais para identificar fissuras, deformações e falhas no revestimento (Garrido et al., 2020). A inspeção de tabuleiros de pontes utiliza voo nadir (câmera apontada para baixo) para a parte superior e voos rasantes ou oblíquos sob a

estrutura, muitas vezes com sensores LiDAR para modelagem tridimensional e análise estrutural (Mandirola et al, 2022).

Nas estruturas verticais, como fachadas, torres, pilares e viadutos, o planejamento de voo segue trajetórias paralelas à superfície a ser inspecionada, com a câmera voltada frontalmente ao objeto, muitas vezes utilizando tecnologia RTK para acurácia centimétrica sem necessidade de denso apoio terrestre (El Masri; Ravka, 2020). A inspeção de fachadas permite identificar anomalias em revestimentos, juntas, esquadrias e elementos estruturais, empregando voos em colunas verticais ou movimentos laterais a distâncias constantes, com câmeras *Red, Green e Blue* (RGB) e termográficas para detecção de infiltrações ocultas. A inspeção de torres, como as de telecomunicação ou transmissão, utiliza voos orbitais em diferentes alturas, registrando a estrutura em 360° para análise de corrosão, fissuras e falhas em antenas ou cabos (Falorca et al, 2021). Os pilares de pontes e viadutos são inspecionados com aproximações controladas e registros verticais em múltiplos ângulos, permitindo identificar fissuras, lascamentos e corrosão de armaduras. Por fim, a inspeção de viadutos combina registros das partes verticais e inclinadas, incluindo elementos internos e zonas de sombra, muitas vezes exigindo voo manual para alcançar áreas de difícil acesso (Mandirola et al, 2022).

O avanço tecnológico tem impactado fortemente ambos os tipos de inspeção. A utilização de drones com câmeras ópticas, sensores térmicos, LiDAR e softwares de fotogrametria permite a criação de ortomosaicos, nuvens de pontos e modelos 3D de alta precisão (Sun, 2023). Essas tecnologias reduzem custos, aumentam a segurança dos inspetores e viabilizam inspeções mais frequentes e detalhadas (Falorca et al, 2021). Aliadas a métodos tradicionais, tornam possível um monitoramento contínuo e comparativo ao longo do tempo, favorecendo a manutenção preventiva e prolongando a vida útil das estruturas (Spencer et al, 2019).

O impacto é amplificado pelo fato de que, em ambos os tipos de inspeção, os drones reduzem significativamente a exposição dos inspetores a condições perigosas, como altura, tráfego intenso ou proximidade de equipamentos pesados (Rodrigues et al, 2017). Adicionalmente, a integração dos drones com tecnologias emergentes, como visão computacional e inteligência artificial, permite a automação parcial do processo de detecção e classificação de anomalias, aumentando a consistência dos resultados e diminuindo a subjetividade das análises (Spencer et al, 2019).

3. METODOLOGIA

Esta seção descreve as etapas que devem ser seguidas para a utilização de drones na inspeção de obras civis, destacando os procedimentos que devem ser realizados antes, durante e após o voo.

Estudos de caso, realizados pelos autores, servem de ilustração para algumas etapas do procedimento de uso de drones para inspeção e mapeamento. Um estudo foi realizado na cidade de Francisco Morato (SP) em um terreno onde fica localizada a Creche da Artes e que possui um talude com risco de escorregamento que precisava ser inspecionado. Outro estudo foi feito no Rádio Observatório Pierre Kauffman (ROPK) em Atibaia (SP), onde foi utilizado o drone Mavic 3 Enterprise Thermal, que possui uma câmera termográfica embarcada, para a inspeção das construções. Mais um estudo foi feito no campus Alphaville da Universidade Presbiteriana Mackenzie (UPM).

3.1 Regulamentação

No Brasil, vários órgãos trabalham na regulamentação e monitoramento das atividades envolvendo drones, auxiliando no controle e segurança do espaço aéreo. Dentre essas agências, destacam-se a Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), a Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL) e o Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA), cada uma com suas respectivas atribuições e normativas.

A ANAC é responsável por regulamentar o uso de drones no Brasil. Os drones Classe 3, normalmente utilizados em inspeções, devem ser cadastrados na ANAC, não podem voar acima de 120m sem autorização especial, devem manter distância mínima de 30m em relação a pessoas não anuentes ao processo, necessitam de seguro obrigatório, entre outras normas definidas por essa agência (ANAC, 2017)

A ANATEL é responsável pela homologação de drones, garantindo que suas frequências de transmissão não interfiram em outros equipamentos de comunicação. Para isso, certifica os equipamentos de telecomunicações embarcados nos drones, assegurando a conformidade com os padrões de compatibilidade eletromagnética (ANATEL, 2022).

O DECEA, subordinado à Força Aérea Brasileira (FAB), é responsável por estabelecer normas e diretrizes para operações seguras e legais de drones. Os voos de drones precisam de autorização para uso de espaço aéreo, feita através do Sistema de Solicitação de Acesso de Aeronaves Remotamente Pilotadas – Nova Geração (SARPAS NG). Ele é responsável também pelo registro dos pilotos. (DECEA, 2023)

Além das obrigações formais, é fundamental realizar o estudo do entorno da estrutura a ser inspecionada, identificando zonas de risco, interferência eletromagnética, presença de redes aéreas, áreas de fluxo intenso ou qualquer condição que possa comprometer a segurança do voo ou a estabilidade dos dados.

3.2 Cadastros e autorizações

Para realizar a operação de drones de forma regular no Brasil, é necessário seguir um fluxo de autorizações e requisitos legais. Primeiramente, deve-se homologar o equipamento junto à ANATEL. Em seguida, é preciso cadastrar a aeronave no Sistema de Aeronaves Não Tripuladas (SISANT), da ANAC, e contratar o seguro de Responsabilidade do Explorador ou Transportador Aéreo (RETA) para cobertura de danos a terceiros. Após essa etapa, realiza-se o cadastro do piloto e da aeronave no sistema SARPAS NG, do DECEA, responsável pelo controle do espaço aéreo. Antes de cada missão, deve-se solicitar a autorização de voo dentro do prazo mínimo exigido para o tipo de operação e região. (ANAC, 2017)

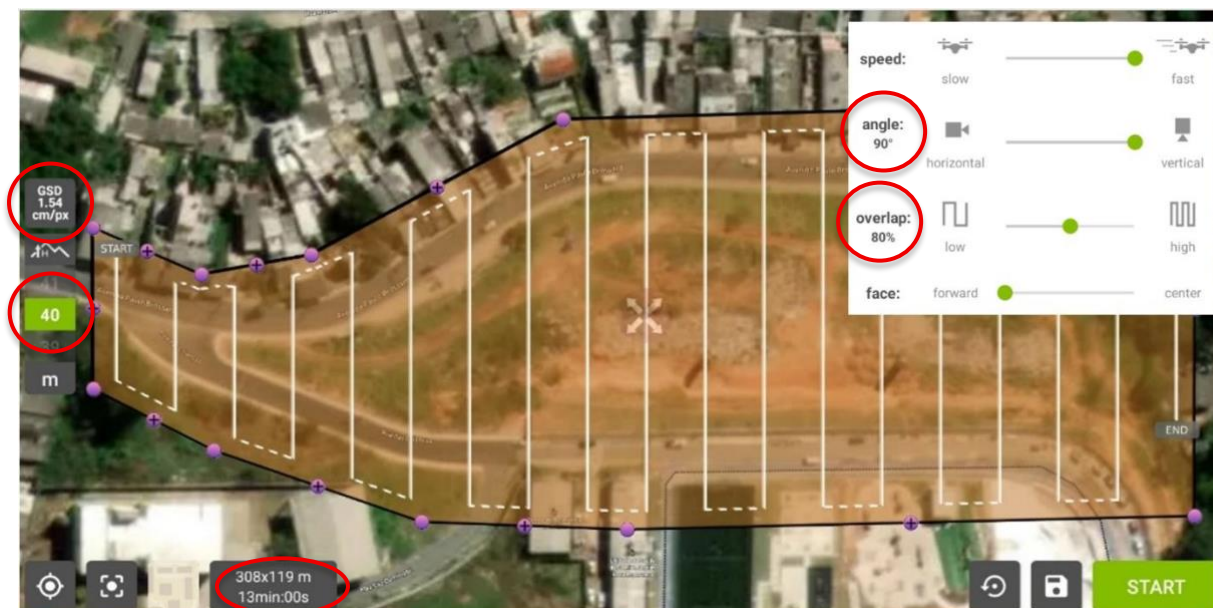
Durante a execução do voo, o operador deve portar os seguintes documentos: comprovante de homologação da ANATEL (geralmente é um selo impresso no corpo da aeronave), certificado de cadastro da ANAC, apólice do seguro RETA e autorização emitida pelo SARPAS NG. Por fim, é imprescindível cumprir integralmente as regras operacionais estabelecidas, incluindo altura máxima de voo, distância mínima de segurança em relação a pessoas não anuentes e respeito às zonas restritas ou de tráfego aéreo controlado.

3.3 Planejamento do voo

A elaboração do plano de voo deve ser realizada de forma prévia à missão de campo, geralmente no escritório. Em planos horizontais, deve-se levar em consideração a extensão e o relevo da área de interesse e definir parâmetros como a rota a ser seguida, a altura de voo, o ângulo da câmera e a porcentagem de sobreposição de imagens, por exemplo, visando garantir a reconstrução tridimensional precisa do terreno ou estrutura.

A Figura 2 mostra o plano de voo do tipo “poligonal” preparado no software gratuito Pix4Dcapture para o estudo de caso da Creche das Artes.

Figura 2 – Plano de voo no software Pix4Dcapture



Fonte: Próprio autor (2025)

Alguns parâmetros estão destacados com um círculo vermelho: altura do voo 40m, ângulo da câmera 90° (vertical) e sobreposição de imagens 80%. Podemos ver também alguns valores calculados pelo aplicativo: *Ground Sampling Distance* (GSD) de 1,53 cm/pixel, área mapeada 308x119m e tempo de voo estimado 13min.

O GSD, que indica qual é a área do terreno representada em cada pixel da imagem, é estimado de acordo com a altura de voo, resolução e distância focal da câmera, entre outros fatores. A sobreposição frontal e lateral das fotos deve ser definida entre 70% e 80%, conforme recomendações da literatura técnica para levantamentos aerofotogramétricos para que o modelo 3D seja gerado com maior acurácia.

A delimitação da área de cobertura pode ser realizada diretamente no aplicativo, com base no mapa de referência (imagem de satélite) e nos pontos de interesse previamente identificados em campo.

Em planos verticais, como para inspeção de fachadas, por exemplo, o planejamento de voo é semelhante. Porém os parâmetros devem ser ajustados: o ângulo da câmera, em geral, é de 0° (horizontal); o voo deve ter uma altura mínima (próxima do solo) e uma altura máxima (próxima do topo da estrutura a ser inspecionada); deve ser definida a distância de voo em relação à estrutura (plano vertical); a sobreposição de imagens se mantém em torno de 80%; etc.

A Figura 3 mostra o mosaico de imagens elaborado a partir de 6 imagens obtidas no mapeamento vertical da fachada do Prédio 15 no campus Alphaville da UPM. O mosaico apresenta algumas ondulações na parte superior e algumas falhas devido à ausência de

sobreposição vertical das imagens. A sobreposição horizontal neste mapeamento foi de 75%. A distância do plano de voo vertical até a fachada foi de 12m.

Figura 3 – Mosaico de 6 imagens em mapeamento vertical de fachada



Fonte: Próprio autor (2025)

3.4 Pontos de controle

Em geral, os drones possuem um GNSS embarcado para o georreferenciamento das imagens capturadas e para controlar seu posicionamento durante a execução do plano de voo. Drones sem GNSS dificilmente conseguem ser utilizados para obter produtos de qualidade em inspeção e mapeamento devido à sua instabilidade em voo e captura de imagens não georreferenciadas.

Porém, o método utilizado pelo GNSS embarcado no drone para obtenção de coordenadas não é muito preciso. Frequentemente se vê erros de posicionamento horizontal em torno de 5 a 10m, chegando a mais de 50m no posicionamento vertical. Desta forma, as fotos capturadas pelos drones possuem uma baixa acurácia posicional.

Existem pelo menos 2 formas de resolver este problema:

1. utilizar um drone com tecnologia *Real Time Kinematic* (RTK) que utiliza uma base local ou remota para corrigir o posicionamento e gerar coordenadas com poucos centímetros de erro;
2. utilizar *Ground Control Points* (GCP) que são pontos de controle marcados no solo para servir de referência nos sistemas de correção de posicionamento. A coordenadas desses pontos é coletada por equipamentos de alta precisão como estações totais ou GNSS geodésicos.

Para planos de voo horizontais, podemos usar as 2 soluções. Para planos de voo verticais, precisamos de um drone RTK para uma boa acurácia posicional, pois não há como utilizar GCPs em estruturas verticais.

A Figura 4 mostra a posição dos pontos de apoio utilizados no mapeamento horizontal da Creche das Artes. Pontos de Controle são utilizados para melhorar o georreferenciamento das imagens e Pontos de Verificação são utilizados para verificar a acurácia posicional do projeto.

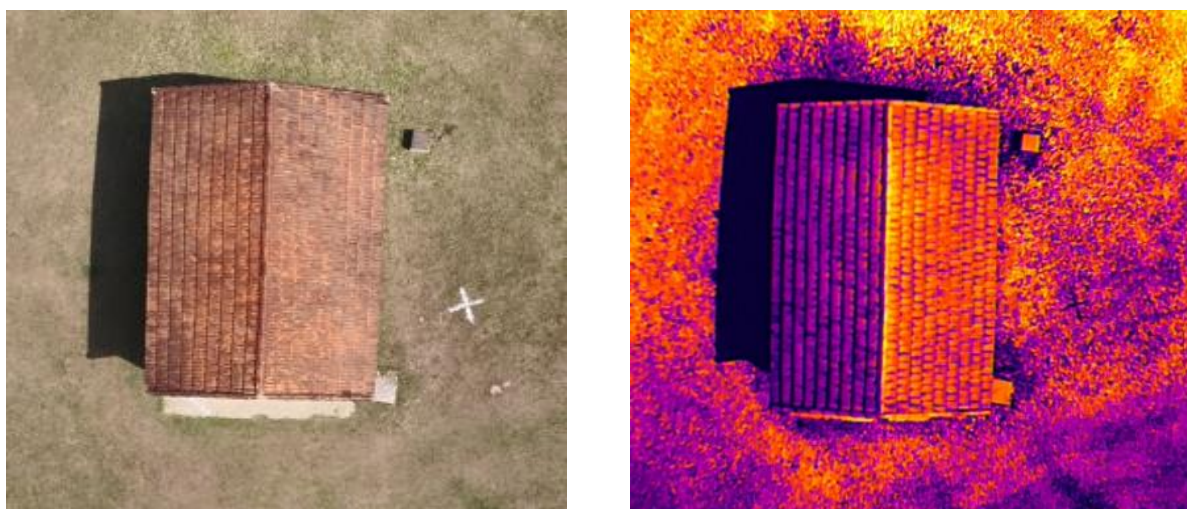
Figura 4 – Pontos de Apoio (Controle e Verificação) – Creche das Artes



Fonte: Próprio autor (2025)

A Figura 5 mostra uma das imagens obtidas no mapeamento horizontal do ROPK com o drone Mavic 3 Enterprise Thermal equipado com câmera RGB e câmera Termográfica. Na imagem pode ser visto um ponto de controle marcado sobre o solo com cal.

Figura 5 – Mapeamento ROPK, Cameras RGB e Termográfica, Ponto de Controle



Fonte: Próprio autor (2025)

O tamanho do marcador deve estar de acordo com a altura de voo e ser suficiente para uma boa visualização nas imagens coletadas. Em planos de voo horizontais, o voo só deve ser realizado após a marcação dos Pontos de Apoio no solo, pois eles devem aparecer nas imagens.

Na inspeção vertical não é possível utilizar Pontos de Apoio, mas o uso de drones RTK já garante uma boa acurácia posicional.

3.5 Voo

Nos estudos de caso realizados pelos autores, as missões foram executadas sob condições meteorológicas controladas, sem chuva, com ventos fracos e luminosidade uniforme, atendendo às boas práticas recomendadas pela Instrução de Comando da Aeronáutica (ICA) 100-40/2023 (DECEA, 2023), que orienta sobre a segurança operacional durante voos com Aeronaves Remotamente Pilotadas (*Remotely Piloted Aircraft* - RPA).

A etapa de voo corresponde à execução prática do plano previamente elaborado, constituindo-se como o momento central da coleta de dados para a inspeção técnica. Para garantir a qualidade e a segurança da operação, deve-se ter todos os parâmetros definidos no planejamento, tais como: altitude, velocidade, sobreposição frontal e lateral, rota de voo e configurações de câmera.

Durante a operação, o drone deve seguir o padrão de voo automatizado previamente estabelecido, garantindo a sobreposição adequada das imagens e mantendo a estabilidade necessária para evitar distorções ou desfoque. É essencial monitorar continuamente as condições meteorológicas durante o voo, especialmente velocidade do vento, incidência de rajadas e variações de luminosidade, que podem comprometer a captura das imagens. Caso haja qualquer alteração significativa que possa afetar a segurança ou a qualidade dos dados, a missão deve ser pausada ou interrompida.

3.6 Processamento de dados e imagens, geração de produtos e relatório técnico

Após a realização do voo é realizado o processamento das imagens coletadas através de softwares pagos (Pix4DMapper ou Agisoft Metashape, por exemplo) ou softwares gratuitos (Open Drone Map – ODM, por exemplo) para a geração de produtos de inspeção e produtos topográficos.

O processamento das imagens e dados GNSS deve seguir as seguintes etapas:

- carregamento as imagens no software de fotogrametria;
- carregar as coordenadas dos Pontos de Apoio (apenas no caso de mapeamento horizontal);

- identificação e marcação dos pontos de controle (GCPs) e pontos de verificação (*checkpoints*) nas imagens (apenas no caso de mapeamento horizontal);
- geração da nuvem de pontos esparsa e, posteriormente, nuvem de pontos densa;
- criação do modelo tridimensional (*mesh*) e aplicação de textura;
- geração de ortomosaico georreferenciado, com GSD compatível com os requisitos da inspeção;
- geração de Modelo Digital de Superfície (MDS) e Modelo Digital de Terreno (MDT) (apenas no caso de mapeamento topográfico);
- extração de curvas de nível, representando a altimetria da área mapeada (apenas no caso de mapeamento topográfico);
- geração de layouts de impressão em escala;
- redação de relatório técnico.

O processamento das imagens aéreas e dados GNSS é uma etapa fundamental para transformar os dados brutos coletados em produtos precisos e georreferenciados. É a etapa determinante para a qualidade da inspeção, assim como a entrega dos produtos processados, assegurando que os dados coletados em campo sejam processados de forma consistente, mantendo a rastreabilidade e a precisão necessárias para aplicações em diagnóstico de manifestações patológicas, acompanhamento de obras e planejamento de intervenções.

Em nossos estudos de caso, foi utilizado o software Open Drone Map (ODM), que é um software de código aberto voltado para o processamento de dados de drones e georreferenciamento de imagens. Suas funcionalidades incluem a geração de modelos 3D e extração de ortomosaicos, modelos de elevação (MDS e MDT) e curvas de nível. Entre suas vantagens estão a acessibilidade e a possibilidade de uso sem restrições de licença, o que o torna uma alternativa viável a softwares comerciais. Apesar de ser menos automatizado em algumas funcionalidades, o ODM permite uma personalização maior dos parâmetros de processamento.

O exemplo a seguir mostra o processamento e mapeamento da área com risco de escorregamento nas proximidades da Creche das Artes, situada na Avenida Paulo Brossard, no bairro Jardim Vassouras, em Francisco Morato (SP).

O primeiro passo foi carregar as imagens e o arquivo com as coordenadas dos pontos de controle para o ODM.

A Figura 6 mostra o percurso do drone durante o mapeamento e a localização das 264 fotos coletadas.

Figura 6 – Rota de voo e posicionamento das fotos



Fonte: Próprio autor (2025)

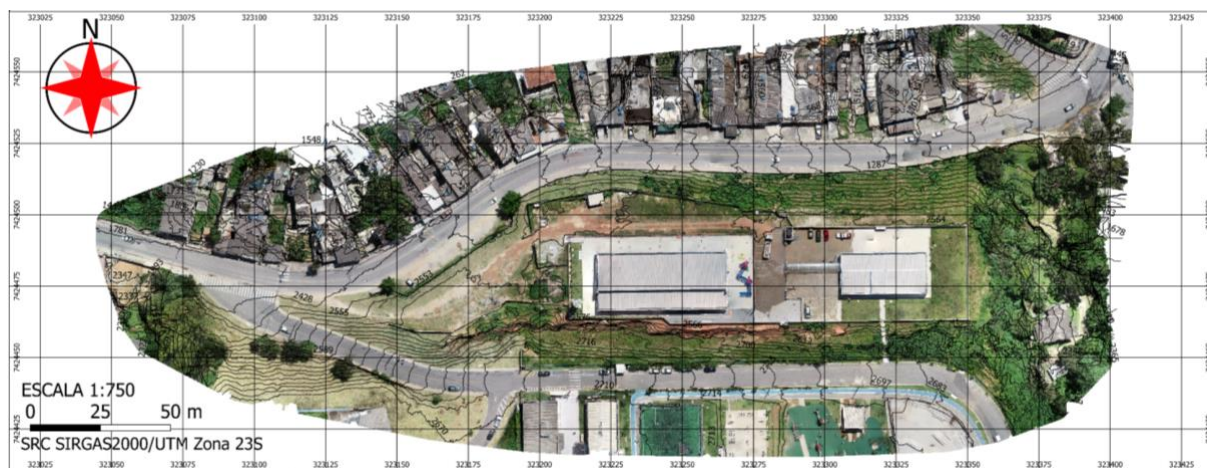
O passo seguinte foi abrir cada uma das imagens e fazer o apontamento de cada ponto de controle associando à coordenada precisa coletada por GNSS.

Após o apontamento de todos os pontos de controle em todas as imagens, foi feita a configuração de alguns parâmetros do ODM e iniciou-se o processamento. O processamento não é interativo, mas automático baseado dos parâmetros de configuração. Após a finalização, é disponibilizada uma lista de produtos (ortofoto, MDS, MDT etc.) gerada a partir do modelo 3D criado.

A ortofoto (Figura 7) é uma imagem aérea de alta resolução que passou por correções geométricas, tornando-a precisa em termos espaciais. Por essa razão, ela é amplamente empregada em atividades como identificação de uso e ocupação do solo, inspeções visuais, e suporte a projetos de infraestrutura urbana e ambiental. Sua principal vantagem é oferecer uma representação visual fiel do terreno, mantendo proporções e escalas corretas. Ela é obtida a partir do mosaico de várias imagens.

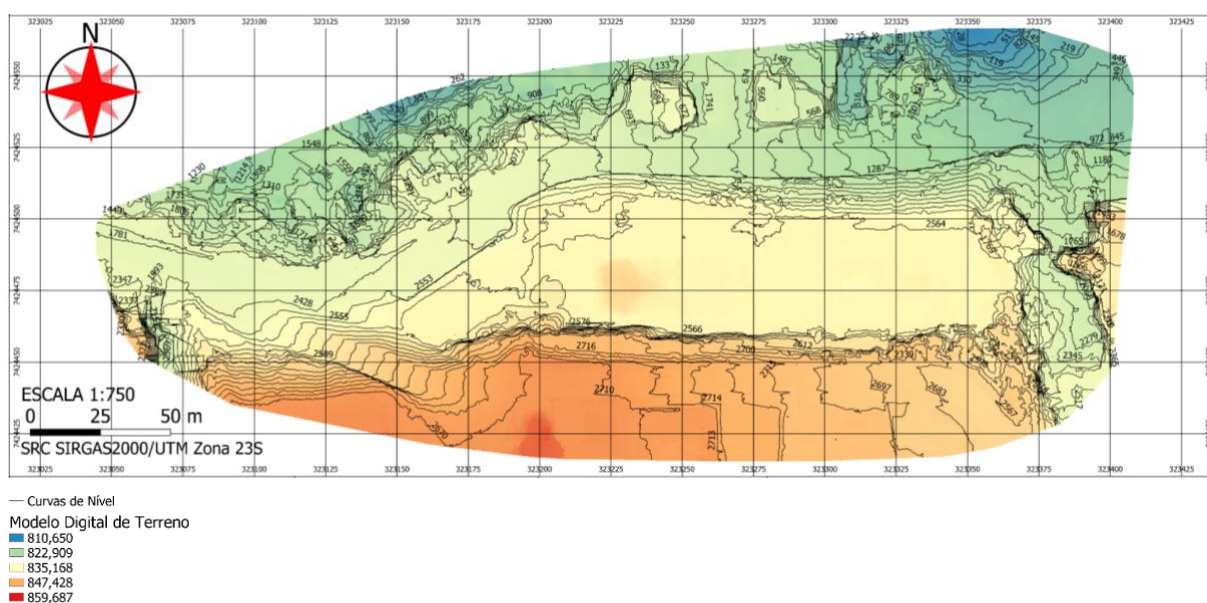
O Modelo Digital do Terreno (MDT) apresentado na Figura 8 representa exclusivamente o relevo do solo, desconsiderando elementos como vegetação, edificações ou qualquer outro obstáculo para a geração de curvas de nível ou efeitos de sombreamento do relevo. As curvas de nível, também vistas na Figura 8, são linhas que indicam pontos com a mesma altitude no terreno, permitindo a interpretação das variações de elevação. Quando essas linhas estão muito próximas umas das outras, indicam áreas com inclinação acentuada; quando estão mais espaçadas, apontam para terrenos mais planos. Elas são essenciais para projetos topográficos, agrícolas e de engenharia, pois ajudam a compreender a conformação do terreno.

Figura 7 – Ortofoto



Fonte: Próprio autor (2025)

Figura 8 – Modelo Digital de Terreno (MDT) e curvas de nível



Fonte: Próprio autor (2025)

4. RESULTADO E DISCUSSÃO

A implementação do procedimento proposto para inspeções técnicas com drones demonstrou um avanço significativo na sistematização e eficiência desse tipo de operação em obras civis. A partir da execução prática nas áreas de estudo contemplando desde a etapa de regulamentação e autorizações até a geração de produtos cartográficos como Ortofotos, MDT e curvas de nível, foi possível validar a aplicabilidade da metodologia em condições reais.

O uso de drones em inspeções técnicas oferece vantagens significativas em termos de segurança, eficiência e qualidade dos dados. Segundo Rodrigues et al. (2017), a adoção de drones reduz em até 70% a exposição de trabalhadores a ambientes de risco. A utilização de

drones em inspeções prediais pode reduzir o tempo de execução em até 60%, com economia financeira estimada em 40%.

Do ponto de vista técnico, a utilização de drones equipadas com sensores ópticos de alta resolução, aliadas ao georreferenciamento por GNSS de alta precisão, garantiu produtos com acurácia compatível com as exigências de inspeções prediais e infraestruturais (Rakha; Gorodetsky, 2018). Outrossim, a combinação do voo, regulamentação e autenticação, planejamento prévio e definição criteriosa de parâmetros como GSD e sobreposição resultou em dados consistentes e de fácil integração em softwares de processamento fotográfico.

Todavia, dado ao extenso cumprimento de exigências e certificação, representa-se uma etapa e demanda complicada para realizar-se em qualquer voo de estrutura, apesar da sua eficiência e entrega metódica, além disso, questões como a autorização para voos ou em áreas urbanas densas, onde seriam de maior interesse para as inspeções, continuam a representar barreiras para operações de larga escala totalmente automatizadas (Menegardo et al., 2020).

Em síntese, os resultados obtidos confirmam que a aplicação do procedimento com drones em inspeções de obras civis proporciona ganhos expressivos de segurança, eficiência e qualidade dos dados, mas requer a superação de entraves técnicos, operacionais e regulatórios para atingir seu pleno potencial. A padronização metodológica apresentada neste trabalho contribui para mitigar parte dessas limitações, criando uma base sólida para futuras pesquisas e para a evolução tecnológica no setor.

5. CONCLUSÃO

Conclui-se que o procedimento elaborado para o uso de drones na inspeção de obras civis demonstrou-se uma ferramenta metodológica eficaz, capaz de integrar de forma sistemática as etapas legais, operacionais e técnicas necessárias para garantir a segurança, a eficiência e a qualidade dos resultados obtidos. A abordagem estruturada, contemplando desde a regulamentação junto a órgãos competentes (ANAC, ANATEL e DECEA) até o pós-processamento dos dados e a geração de produtos cartográficos, assegura a rastreabilidade e a padronização das operações, favorecendo a reprodutibilidade e a comparabilidade de inspeções ao longo do tempo.

A execução prática evidenciou que a adoção de um fluxo claro, sendo composto por autorização, planejamento de voo, coleta de dados em conformidade com parâmetros pré-definidos, processamento e análise, permitindo-se maximizar o aproveitamento das capacidades tecnológicas das Aeronaves Remotamente Pilotadas, ao mesmo tempo em que mitiga riscos operacionais e cumpre rigorosamente a legislação vigente.

Além de elevar a eficiência e a precisão das inspeções, o procedimento proposto representa um avanço em relação aos métodos convencionais, pois reduz a exposição de inspetores a situações de risco, amplia o alcance de áreas monitoradas e fornece produtos de alta qualidade, como ortomosaicos, modelos digitais e registros georreferenciados.

Conclui-se que a aplicação desse procedimento não apenas moderniza as rotinas de inspeção na engenharia civil, mas também estabelece um referencial técnico que pode ser adaptado e aprimorado para diferentes contextos e tipologias construtivas, contribuindo para a evolução das práticas de manutenção, diagnóstico e gestão do ciclo de vida das edificações e infraestruturas.

6. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5674:2012 – Manutenção de edificações – Requisitos para o sistema de gestão de manutenção. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10520:2002 – Informação e documentação – Citações em documentos – Apresentação. Rio de Janeiro: ABNT, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6023:2018 – Informação e documentação – Referências – Elaboração. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL (ANAC). Regras da ANAC para uso de drones entram em vigor, Brasília, maio 2017. Disponível em: <https://www.anac.gov.br/>. Acesso em: 14 jul. 2025

AGÊNCIA NACIONAL DE TELECOMUNICAÇÕES (ANATEL). Relatórios e publicações institucionais. Brasília: ANATEL, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/anatel>. Acesso em: 20 jul. 2025.

DEPARTAMENTO DE CONTROLE DO ESPAÇO AÉREO. Trafégo Aéreo: Aeronaves não tripuladas e o acesso ao espaço série Brasileiro. DECEA, 2023. Disponível em: <https://www.decea.mil.br/drone/docs/ICA%20100-40%20-%20Aeronaves%20n%C3%A3o%20Tripuladas%20e%20o%20Acesso%20ao%20Espa%C3%A7o%20A%C3%A9reo%20Brasileiro%202023%20-%20BCA%20103%2006.06.23.pdf>. Acesso em: 16 jan. 2024.

FALORCA, J. F.; MIRALDES, J. P. N. D.; LANZINHA, J. C. G. New trends in visual inspection of buildings and structures: study for the use of drones. *Open Engineering*, v. 11, p. 734–743, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1515/eng-2021-0071>. Acesso em: 15 set. 2024.

FERREIRA, Jackeline Batista; LOBÃO, Victor Wandir Neves. Manifestações patológicas na construção civil. Portal de periódicos, 2018. Disponível em:

<https://periodicos.set.edu.br/cadernoexatas/article/view/5853/2971>. Acesso em: 01 dez. 2023

GRAHAM, R.; KOH, A. *Digital Aerial Survey: Theory and Practice*. Caithness (UK):

Whittles Publishing / CRC Press, 2002. ISBN 1-870325-98-Acesso em: 10 set. 2024.

GARRIDO, I., Lagüela, S., Otero, R., & Arias, P. (2020). Thermographic methodologies used in infrastructure inspection: A review—data acquisition procedures. *Infrared Physics and Technology*, 111, 103481. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.infrared.2020.103481>.

Acesso em: 25 ago. 2024.

MANDIROLA, M., Casarotti, C., Peloso, S., Lanese, I., Brunesi, E., & Senaldi, I. (2022). Use of UAS for damage inspection and assessment of bridge infrastructures. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 72, 102824. Disponível em:

<https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2022.102824> Acesso em: 25 ago. 2024.

MENEGARDO, Cíntia; TOSCANO, Fabíola Loyola Provedel; ARAÚJO, Karina de Souza. A importância do uso de drones nas inspeções industriais para gerenciamento de riscos. In: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO (ENEGEP), 40., 2020, Foz do Iguaçu. Anais [...]. Rio de Janeiro: ABEPRO, 2020. DOI:

10.14488/ENEGEP2020_TN_STO_349_1796_40369. Disponível em:

https://abepro.org.br/biblioteca/TN_STO_349_1796_40369.pdf. Acesso em: 19 ago. 2025.

NWAOGU, J. M., YANG, Y., Chan, A. P. C., & Chi, H.-l. (2023). Application of drones in the architecture, engineering, and construction (AEC) industry. *Automation in Construction*, 150, 104827. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.104827> Acesso em: 24 ago.

2024

RAKHA, Tarek; GORODETSKY, Alice. Review of Unmanned Aerial System (UAS) applications in the built environment: towards automated building inspection procedures using drones. *Automation in Construction*, [S.l.], v. 93, p. 252-264, set. 2018. Elsevier BV. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.05.002>. Acesso em: 19 ago. 2025.

RODRIGUES, Roseneia Santos de Melo; BASTOS, Dayana Costa; SAMPAIO, Juliana Álvares; IRIZARRY, Javier. Applicability of unmanned aerial system (UAS) for safety inspection on construction sites. *Safety Science*, [S.l.], v. 98, p. 174-185, 2017. Elsevier BV. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2017.06.008>. Acesso em: 19 ago. 2025.

SUN, Y.. Advances in LiDAR applications for transportation infrastructure inspection. *Transportation Research Record*, 2023. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/03611981231123456>. Acesso em: 24 set. 2024.

SPENCERr Jr, B.F., Hoskere, V., & Narazaki, Y. (2019). Advances in Computer Vision-Based Civil Infrastructure Inspection and Monitoring. *Engineering*, 5, 199–222. Disponível em: [10.1016/j.eng.2018.11.030](https://doi.org/10.1016/j.eng.2018.11.030). Acesso em: 25 ago. 2024.

ZHOU, X. et al. Application of drone technology in infrastructure monitoring. *International Journal of Civil Engineering*, 2022. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40999-022-00777-1>. Acesso em: 23 set. 2024.