CAPÍTULO 105 · Parte V · Diagnóstico
DOI do capítulo: https://doi.org/10.67775/s03f6702
Trabalho apresentado no CBPAT 2026 e publicado nos anais do evento: https://doi.org/10.67775/c85bqx02

ENGENHARIA DIAGNÓSTICA APLICADA A RESERVATÓRIO DE ÁGUA ELEVADO: APLICAÇÃO DE VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO PARA INSPEÇÃO DO REL INDAIÁ

Everton Gabriel Medeiros da Silva[1]*, Aristóteles Vinicius Souza de Andrade[2] e Alberto Casado Lordsleem Júnior[3]
*Autor de contato: egms@poli.br

[123] Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil – PEC, Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco POLI– UPE, Recife, Brasil

RESUMO

Os reservatórios de água elevados (RELs) são infraestruturas essenciais para o abastecimento público, porém estão sujeitos a manifestações patológicas decorrentes da ação deletéria da exposição ambiental e da ausência de manutenção periódica. Este estudo tem como objetivo avaliar a aplicabilidade do veículo aéreo não tripulado (VANT) como ferramenta de inspeção de manifestações patológicas em REL, por meio do estudo de caso do REL Indaiá, localizado na Região Metropolitana de Recife. A metodologia baseou-se em inspeção aérea com VANT para coleta imagens e processamento por fotogrametria digital para geração de modelos tridimensionais e ortomosaicos. A partir desses recursos, foram identificadas, classificadas e quantificadas as manifestações patológicas, além da elaboração de mapas de danos e análise de severidade, risco e identificação de áreas críticas com base na metodologia GUT e na norma NBR 16747. Os resultados demonstram elevada incidência de corrosão e exposição de armaduras, com severidade e condição de risco máximas, além de apresentar a torre e a laje inferior do tanque como áreas críticas, evidenciando a eficiência do VANT na inspeção, com redução de custos, tempo e riscos operacionais, configurando-se como alternativa viável aos métodos tradicionais, à tomada de decisão, gestão e monitoramento da infraestrutura hídrica.
Palavras-chave: inspeção; engenharia diagnóstica; infraestrutura hídrica.

ABSTRACT

Elevated water reservoirs (EWRs) are essential infrastructures for public water supply; however, they are subject to pathological manifestations resulting from the deleterious effects of environmental exposure and the lack of periodic maintenance. This study aims to evaluate the applicability of unmanned aerial vehicles (UAVs) as a tool for inspecting pathological manifestations in EWRs through a case study of the Indaiá EWR, located in the Recife Metropolitan Region, Brazil. The methodology was based on UAV-based aerial inspection for image acquisition and digital photogrammetry processing to generate three-dimensional models and orthomosaics. Based on these resources, pathological manifestations were identified, classified, and quantified, in addition to the development of damage maps and the analysis of severity, risk, and identification of critical areas, grounded on the GUT methodology and the NBR 16747 standard. The results demonstrate a high incidence of corrosion and exposed reinforcement, with maximum severity and risk condition, and identify the tower and the lower tank slab as critical areas. These findings highlight the efficiency of UAV-based inspection by reducing costs, execution time, and operational risks, establishing it as a viable alternative to traditional methods and a valuable tool for decision-making, management, and monitoring of water infrastructure.
Keywords: inspection; diagnostic engineering; water infrastructure.

1. INTRODUÇÃO

Os RELs são infraestruturas essenciais para o armazenamento e distribuição de água, garantindo a pressurização da rede de abastecimento através da pressão hidrostática, sem necessidade de energia elétrica, onde, a cada 10,2 cm de elevação, conferem 1 kPa de pressão, ou seja, para 30 m de elevação gera-se, aproximadamente, 300 kPa, pressão suficiente para operar e fornecer a maioria dos requisitos de pressão de água (Almeida, 2014; Teixeira; Silva; Alves, 2021).

No entanto, os RELs são constantemente expostos a condições de operação e exposição ambiental deletérias, ocasionando o acometimento de manifestações patológicas em todas as suas partes constituintes (Helene, 1993; Pimentel et al., 2021).

As manifestações patológicas que acometem os reservatórios elevados de água têm a sua manutenção ou recuperação muitas vezes postergadas devido à necessidade de paralisação do abastecimento, o que afetaria diretamente a qualidade de vida dos usuários, por serem edificações destinadas ao abastecimento de água potável para a população (Souza, 2014).

Para iniciar o processo de manutenção e recuperação é necessário inspecionar esses reservatórios, sendo a inspeção é um procedimento técnico eficaz e crucial para garantir a segurança das estruturas e infraestuturas (IBAPE, 2025).

Porém, o método tradicionalmente empregado para inspecionar RELs, o alpinismo industrial, demanda altos custos, tempo excessivo e riscos aos trabalhadores (Mohammadi, 2021), onde a queda em altura é o principal motivo de acidentes fatais na construção civil (FUNDACENTRO, 2022).

Desta forma, Oliveira *et al.* (2021) apresentam o veículo aéreo não tripulado (VANT) como alternativa tecnológica, em crescente utilização na construção civil, capaz de realizar filmagens e levantamentos fotográficos em locais de difícil acesso de forma segura, ágil e com menor custo, reduzindo a mão-de-obra, de três para um profissional, os custos, a um terço do tradicional, e o tempo, de dias para horas.

Porém, apesar da expansão do uso do VANT na construção civil e de seus benefícios, são escassos os estudos que abordem o seu emprego para o monitoramento das condições estruturais de RELs, concentrando-se em análises de pontes, viadutos, rodovias e painéis solares.

Nesse sentido, este estudo destaca-se por preencher essa lacuna de pesquisa, através de abordagem metodológica voltada para análise espacial e hierarquizada dos danos, servindo como ferramenta de apoio à tomada de decisão e gestão de infraestrutura hídrica, adotando metodologia baseada em estudo de caso, objetivando a avaliação da severidade, atribuição do grau de prioridade e identificação das áreas críticas do REL estudado, empregando o VANT como ferramenta de captura de imagens para posterior construção de recursos visuais que auxiliarão no diagnóstico.

2. METODOLOGIA

O procedimento metodológico adotado neste trabalho envolveu abordagem exploratória, aplicada em estudo de caso, a qual foi empregado VANT para realização de levantamento fotográfico e coleta de dados do objeto estudado, subsidiando a reconstrução digital tridimensional do

reservatório através de *software* de fotogrametria digital para posterior análise técnica das manifestações patológicas incidentes.

2.1 Estudo de caso

Para o desenvolvimento deste estudo, foi necessária a participação no Programa de Mentoria CONECTA da Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA), o que possibilitou a obtenção das autorizações e informações técnicas relativas ao objeto analisado. Assim, definiu-se o REL Indaiá como estudo de caso, estrutura construída há mais de 30 anos (sem registro preciso da data), localizada na 1ª Travessa da Conceição, Rodovia PE-22, s/nº, Nossa Senhora do Ó, em Paulista-PE, na Região Metropolitana do Recife (Silva, 2024).

Figura 1 – Estudo de caso.



Fonte: os autores.

Este REL é caracterizado por ser destinado à distribuição de água, possuir capacidade de armazenamento de 300 m³ de água tratada, médio porte, com forma circular, coberto, material construtivo em concreto armado e tipologia simples, possuindo 24 metros de altura, atendendo ao bairro de Nossa Senhora da Conceição, responsável por abastecer 2.462 economias ou 8.617 pessoas, aproximadamente (Silva, 2024).

Encontra-se locado a 4 metros de altitude em relação ao nível do mar e distância para o mar, em linha reta, de 734 metros, e está sob a responsabilidade da Gerência de Negócios Metropolitana (GNM) Norte, sendo abastecido pelo poço artesiano P.7.1 estabelecido no mesmo local, figurando como importante infraestrutura hídrica para abastecimento de água potável para a população local (Silva, 2024).

2.2 Protocolo de atividades

Objetivando padronizar e tornar o processo replicável, foi desenvolvido o potocolo de inspeção em reservatórios de água elevados, abrangendo as etapas descritas no Quadro 1.

Quadro 1 – Etapas das atividades desenvolvidas.

Atividade	Descrição
Preparação	Avaliação do local, levantamento dos dados do REL e solicitação de autorização para voo com o VANT.
Operação	Levantamento e coleta de dados por meio de pousos e decolagem da aeronave para captura de imagens e definições de voo.

Quadro 1 – Etapas das atividades desenvolvidas (continuação).

Pós-operação	Catalogação, organização e disposição dos dados coletados.
Processamento digital	Construção dos recursos visuais, como nuvem densa de pontos, modelo 3D e orotomosaicos.
Construção de mapas de danos	Para futuras manutenções e/ou reconstruções, pontuais ou totais.

Fonte: os autores (2026).

Para as etapas de preparação, operação e pós-operação foram desenvolvidos formulários de orientação e direcionamento dos voos realizados, permitindo identificar e replicar as configurações, características, análises e cuidados empregados para a atividade exploratória, os quais continham, em síntese, dados do REL, plano de voo, análise do local, autorização e configurações de voo, local de pouso e decolagem, pós-pouso, local, data, hora, quantidade de imagens, distâncias (m), altitude (m) e tempo de voo, além de informações sobre condições climáticas.

2.3 Equipamentos e *softwares*

Para o desenvolvimento da pesquisa foi empregado o VANT da empresa DJI, modelo *Mavic* 3 *Thermal* (Figura 2), aeronave do tipo quadricóptero e classificada, pela ANAC, como classe 3 (ANAC, 2023).

Figura 2 – VANT utilizado para os voos.



Fonte: os autores.

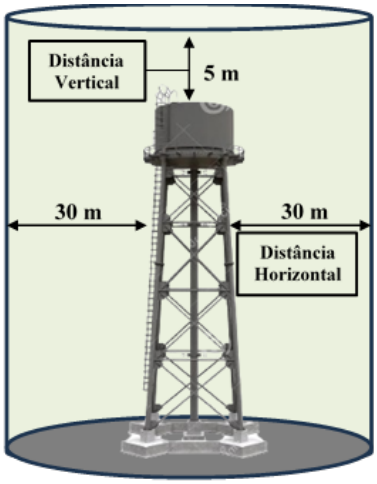
A aeronave não tripulada possui peso de 920 g (com hélices), dimensões de 347,5 × 283 × 107,7 mm quando desdobrada e autonomia de até 45 minutos com duas baterias, sendo controlada por meio do DJI RC Pro Enterprise com display integrado de alta definição. Conta com gimbal de estabilização em três eixos, com inclinação entre -90° e 35°, além de três câmeras: grande angular de 48 MP com zoom de até 56×, telecâmera de 12 MP e câmera térmica com resolução máxima de 640 × 512 pixels, permitindo capturas em JPEG e MP4 (Medeiros da Silva et al., 2025). Para o processamento digital dos dados e geração de modelos tridimensionais, utilizou-se computador DELL com processador Intel Core i7, 16 GB de RAM e os softwares Pix4D Cloud, Agisoft Metashape Professional 2.1.1 e Pix4D Capture PRO.

2.4 Procedimentos

2.4.1 Voos e sobreposição de imagens

A captura de imagens com o VANT foi realizada utilizando a configuração Torre de Transmissão do software Pix4D Capture Pro, garantindo a qualidade dos dados aerofotogramétricos e a automatização do voo. Foram executados dois voos com a mesma trajetória, porém em diferentes altitudes e posições em relação ao REL, visando ampliar a cobertura e o detalhamento das áreas inspecionadas. O primeiro voo concentrou-se na coberta e no tanque, mantendo distância vertical de cinco metros e horizontal de oito metros, atendendo à regulamentação do DECEA (2023) para o modo Entorno de Estruturas (Figura 3). Essa configuração seguiu as recomendações de Ballesteros e Lordsleem Jr. (2020), otimizando a identificação de danos nessas regiões do reservatório.

Figura 3 – Operação no Entorno de Estruturas.



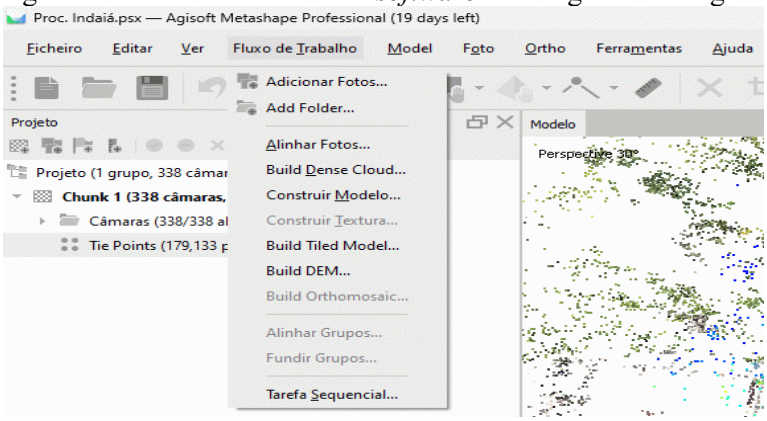
Fonte: Silva (2025).

Após a substituição da bateria, o VANT foi reposicionado para abranger a laje inferior e a superestrutura do reservatório, garantindo sobreposição mínima de 15% entre imagens capturadas em diferentes altitudes, conforme Mappa (2020), e sobreposição longitudinal de 80% em trajetória orbital, de acordo com Pitombeira e Reis Filho (2020) e Silva et al. (2022), totalizando 60 minutos de operação. Concluído o levantamento fotográfico, as imagens foram armazenadas em formato JPG, catalogadas e organizadas em arquivo específico do reservatório, viabilizando o posterior processamento dos dados por meio de software de fotogrametria digital.

2.4.2 Procedimentos do processamento digital

De posse dos dados coletados e organizados, realizou-se o processamento digital das imagens no software Agisoft Metashape Professional para geração dos recursos visuais utilizados na inspeção. A fim de garantir elevada qualidade e fidelidade na reconstrução do REL, todos os parâmetros foram configurados na capacidade máxima permitida pelo programa. Considerando a memória RAM disponível, foi possível processar entre 300 e 500 imagens de 10 MP por etapa, sendo que o volume de fotos e as configurações adotadas influenciaram diretamente a demanda computacional e o tempo de processamento (AGISOFT, 2024). O processamento completo do REL Indaiá demandou 11 horas e 38 minutos, seguindo as etapas de alinhamento das fotos, geração da nuvem densa de pontos, construção do modelo, aplicação de textura e geração do ortomosaico.

Figura 4 – Fluxo de trabalho no *software* de fotogrametria digital.



Fonte: os autores (2026).

O tempo total para produção dos recursos visuais compreendeu desde a coleta das imagens até a geração e exportação dos ortomosaicos. Concluída essa etapa, iniciou-se a detecção, identificação e classificação dos danos estruturais por meio da análise visual das fotografias, modelos 3D e ortomosaicos. O procedimento foi padronizado, adotando-se leitura sistemática de cima para baixo e da esquerda para a direita em cada face do reservatório, conforme as posições cardeais. As imagens ortorretificadas foram exportadas para o AutoCAD para elaboração dos mapas de danos e representação gráfica das anomalias. Em seguida, foram definidos os tipos de danos, sua quantificação, distribuição e severidade. Esses dados permitiram estabelecer prioridades para a reabilitação estrutural do REL.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Através da aplicação das etapas metodológicas, foi possível identificar a quantidade, características, posição, distribuição e severidade das manifestações patológicas incidentes no estudo de caso.

3.1 Análise quantitativa das manifestações patológicas

A manifestação patológica com maior incidência identificada no REL foi a corrosão, correspondendo a 27,85% do total de manifestações patológicas detectadas, seguida da exposição das armaduras, com 25,31% e eflorescência, com 17,72%, conforme Tabela 1 e exemplificado na Figura 5.

Tabela 1 – Quantitativo e tipos de manifestações patológicas detectadas no REL por recurso visual.

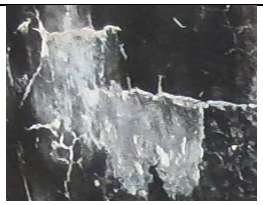
	Manifestação Patológica	Fotografias	Modelo 3D	Ortomosaico
REL Indaiá	Corrosão	22	11	16
	Armadura exposta	20	9	14
	Eflorescência	14	9	14
	Agentes biológicos	6	6	6
	Desplacamento	10	5	10
	Fissuras e trincas	5	2	5
	Vazamento	2	2	2
	Total	**79**	**44**	**67**

Fonte: os autores.

Desta forma, pôde-se identificar que o recurso visual com maior eficiência para identificação de manifestações patológicas no REL foras as fotografias obtidas por meio do VANT. Os ortomosaicos foram eficazes para auxiliar na localização espacial das anomalias, principalemte em imagens com foco elevado. Já os modelos 3D retornaram menor qualidade para identfficação de ocorrências patológicas, porém mostraram-se úteis para a representação geométrica do objeto estudado e para futuras intervenções ou reconstruções.

Figura 5 – Exemplos de manifestações patológicas localizadas no REL Indaiá.

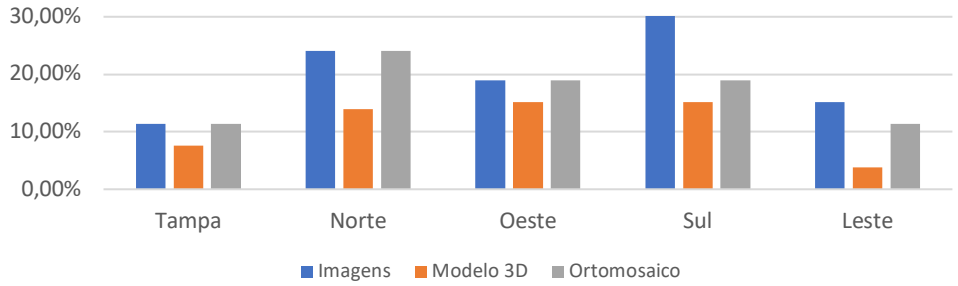
Corrosão e exposição de armaduras		
		
Pilar	Tanque	Pilar

Eflorescência	Vazamento
	
Tanque	Tanque

Fonte: os autores.

Após o levantamento das manifestações patológicas que acometem o REL, foi possível identificar a posição cardeal com maior incidência de problemas. Neste caso, a posição sul mostrou-se mais suscetível a ocorrência de danos (Figura 6).

Figura 6 – Percentual de manifestações patológicas por posição cardeal/localização.



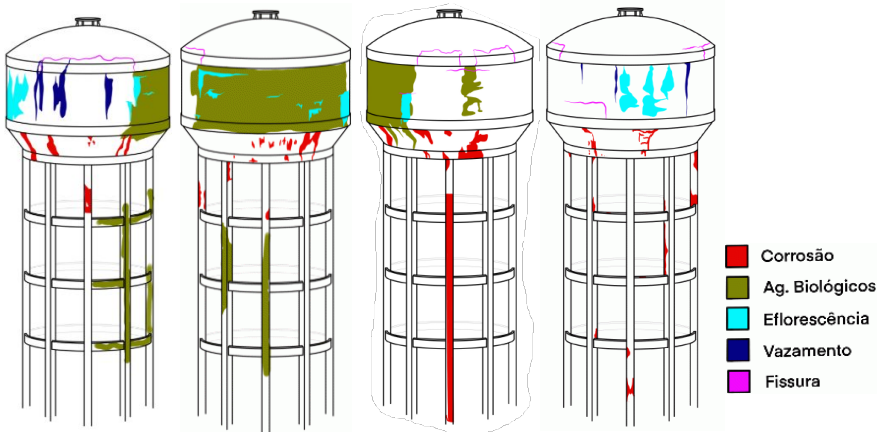
Fonte: os autores.

Esse comportamento credita-se à direção do vento na região metropolitana de Recife acontecer majoritariamente no quadrante Sul, de fevereiro a setembro, assim como a proximidade ao mar e por estar constantemente exposto ao monóxido de carbono emitido pelos veículos que transitam pela rodovia a qual está situado, sendo a posição Sul do REL voltada para a rodovia.

3.2 Mapas de danos do REL Indaiá

Após a análise, identificação, localização, caracterização e quantificação das manifestações patológicas que acometem os REL foi possível construir os mapas de danos das respectivas posições cardeais e da tampa do REL, conforme exemplificado na Figura 7, através dos ortomosaicos exportados para o AutoCAD.

Figura 7 – Mapas de danos das posições Norte, Oeste, Sul e Leste, respectivamente.



Fonte: Autores (2026).

Este recurso é importante para demonstrar graficamente e facilitar a identificação visual das características, tipos e distribuição das manifestações patológicas incidentes no REL. Conforme observa-se nos mapas de danos, a corrosão é o problema de maior incidência, assim como identificado na análise quantitativa dos danos.

3.3 Análise da severidade e risco

A partir das informações sobre as manifestações patológicas, como tipo, classificação, distribuição e localização, foi possível analisar a severidade, risco ou grau de prioridade e as áreas críticas do REL, em função dos danos identificados, dividindo-o em quatro partes: torre (superestrutura), laje inferior, tanque e tampa.

A severidade foi analisada empregando-se a metodologia GUT (Grau, Urgência e Tendência), conforme Quadro 2. A definição do risco ou grau de prioridade das manifestações patológicas identificadas observou a NBR 16747 (ABNT, 2020) e a norma de inspeção predial do Instituto Brasileiro de Avaliação e Perícas de Engenharia (IBAPE, 2025) (Quadro 3), tendo em vista que não existe norma específica para a inspeção de RELs, e, por fim, foram definidas as áreas críticas do REL, conforme observa-se no Quadro 4.

Quadro 2 – Metodologia GUT.

		GRAVIDADE	URGÊNCIA	TENDÊNCIA
Máxima	10	risco à vida / colapso da edificação	evolução imediata	evento em ocorrência
Alta	8	ferimentos/danos à saúde	evolução a curto prazo	evento a ocorrer
Média	6	Insalubridade /deterioração	evolução a médio prazo	prognóstico p/ breve
Baixa	3	incômodo/degradação	evolução a longo prazo	prognóstico p/ adiante
Mínima	1	depreciação	não evoluirá	evento imprevisto

Fonte: Autores (2026).

A classificação da severidade através da metodologia GUT se dá através da multiplicação dos valores atribuídos a cada elemento, podendo alcançar pontuação máxima de 1000 pontos.

Quadro 3 – Quadro para determinação de risco/grau de prioridade.

Prioridade 1	Quando a perda de desempenho compromete a saúde e/ou a segurança dos usuários, uncionalidade dos sistemas construtivos, durabilidade, aumento expressivo de custo de manutenção e de recuperação, possui riscos ambientais e possíveis paralisações.
Prioridade 2	Quando a perda parcial de desempenho (real ou potencial) tem impacto sobre a funcionalidade da edificação, sem prejuízo à operação direta de sistemas e sem comprometer a saúde e segurança dos usuários.
Prioridade 3	Quando a perda de desempenho pode ocasionar pequenos prejuízos à estética ou quando as ações necessárias são atividades programáveis e passíveis de planejamento, além de baixo ou nenhum comprometimento do valor da edificação.

Fonte: adaptado de ABNT (2020).

A determinação do grau de risco ou prioridade é importante para direcionar os gestores do REL sobre quais sistemas necessitam de atenção prioritária e rápida intervenção e quais podem ser corrigidos em momento oportuno, porém sem permitir a sua evolução.

Quadro 4 – Análise das condições do REL em função das manifestações patológicas.

Manifestação Patológica	Severidade (GUT)	Risco/Grau de prioridade	Áreas Críticas
Corrosão	1000	1	Torre e Laje inferior
Armadura exposta	1000	1	Torre e Laje inferior
Eflorescência	108	3	Tanque e Tampa
Agentes biológicos	54	3	Tanque e Tampa
Desplacamento	640	2	Torre e Laje inferior
Fissuras e trincas	384	2	Torre, Laje inferior e Tanque
Vazamento	360	2	Tanque e Tampa

Fonte: Autores (2026).

Desta forma, observa-se que a corrosão e a exposição de armaduras figuram com severidade máxima e, portanto, atribuído risco/grau de prioridade 1, as quais relacionam-se à torre e à laje inferior do tanque. Essa avaliação mostra-se importante, pois, o decréscimo do desempenho da superestrutura, responsável pela transmissão das cargas do tanque para as fundações, pode acarretar em risco segurança da população residente no entorno do REL.

3.4 Discussão técnica sobre implicações estruturais

Os reservatórios elevados de água (RELs) demandam manutenção contínua e sistemática para evitar riscos estruturais e comprometimento da qualidade da água (Hu et al., 2021). Por estarem permanentemente expostos a agentes ambientais, como vento, chuvas, maresia e poluentes atmosféricos provenientes de veículos e indústrias, essas estruturas sofrem degradação progressiva, reduzindo sua vida útil e favorecendo o surgimento de danos estruturais (Silva et al., 2020). Esse cenário intensifica a necessidade de inspeções mais frequentes e criteriosas, além de reduzir o intervalo entre manutenções preventivas.

Entretanto, intervenções de manutenção ou recuperação em RELs são frequentemente postergadas devido à necessidade de interromper o abastecimento, impactando diretamente a população (Souza, 2014; Medeiros da Silva, 2025). A ausência de manutenção preventiva compromete a durabilidade das estruturas e está associada a 66% dos acidentes relacionados a falhas de uso e conservação (IBAPE, 2025). Além disso, o descaso com a deterioração ou a realização de reparos superficiais pode resultar em reforços estruturais onerosos, demolições ou acidentes, situações que poderiam ser evitadas por meio de ações de reabilitação oportunas e manutenção preventiva periódica (Toretti e Speck, 2017; Medeiros da Silva, 2025).

3.5 Avaliação da aplicabilidade do VANT no caso do REL Indaiá

As inspeções de danos estruturais em reservatórios elevados de água são tradicionalmente realizadas por profissionais de alpinismo industrial, método que envolve custos elevados, maior tempo de execução e riscos operacionais. Em comparação, o uso de VANT permite a obtenção de imagens e vídeos aéreos em alta resolução de todo o entorno da estrutura, com maior agilidade e segurança (Medeiros da Silva, 2025). Segundo Oliveira et al. (2021), essa tecnologia emergente pode reduzir a equipe de três alpinistas para um único operador, diminuir os custos a aproximadamente um terço do método convencional e reduzir o tempo de inspeção de até oito dias para cerca de três horas, além de aumentar produtividade e precisão.

Do ponto de vista operacional, o VANT apresenta interface intuitiva, boa integração entre hardware e software e sensores eficientes para garantir segurança e qualidade dos dados. Contudo, mostra-se sensível a condições climáticas adversas, como chuva, ventos intensos e variações de luminosidade, que podem comprometer a estabilidade e a qualidade das imagens, além de estar sujeito a interferências externas, como ataques de aves. Obstáculos no entorno do reservatório também podem limitar a operação automatizada, exigindo, em alguns casos, voo manual para maior segurança do equipamento e da equipe envolvida.

Para contornar essas limitações sugere-se:

- aquisição de VANT que suporte chuva e ventos fortes.
- integrar o VANT a tecnologias menos suscetíveis à variação da luminosidade, tais quais câmeras termográficas e sensores LiDAR.
- Investir em protetores de hélice e paraquedas para VANT para prevenir danos e quedas em caso de colisão e ataques de pássaros.
- Treinamento contínuo do piloto, assim como atualização frequente para acompanhar o desenvolvimento tecnológico.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com os resultados encontrados neste estudo, é possível realizarmos uma síntese do diagnóstico do REL Indaiá e da viabilidade da aplicação do VANT como ferramenta de inspeção de manifestações patológicas.

4.1 Síntese do diagnóstico do REL Indaiá

Conclui-se que o REL Indaiá apresenta elevada incidência de danos estruturais, com necessidade de intervenção prioritária (Prioridade 1) na torre e na laje inferior do tanque, em razão da presença de corrosão e armaduras expostas. Essas condições comprometem o desempenho estrutural e a capacidade de armazenamento, podendo afetar a continuidade do abastecimento e, consequentemente, a qualidade de vida da população atendida.

Em nível intermediário (Prioridade 2), destacam-se desplacamentos, fissuras e vazamentos, que podem agravar o comprometimento estrutural e ocasionar perdas de água potável, evoluindo para situações mais críticas caso não sejam tratados. Por fim, as eflorescências e o ataque de agentes biológicos foram classificados como Prioridade 3, por, inicialmente, afetarem aspectos estéticos, mas indicarem a presença de umidade, podendo evoluir para danos mais significativos ao longo do tempo se não houver intervenção adequada.

4.2 Viabilidade do VANT como ferramenta de inspeção

O VANT demonstrou-se eficaz na inspeção do REL, destacando-se pela versatilidade, facilidade de operação e capacidade de capturar imagens em alta resolução, possibilitando a geração de modelos 3D, ortomosaicos e registros fotográficos detalhados. O equipamento apresentou interface intuitiva, boa integração entre hardware e software e sensores eficientes para evitar colisões. Entretanto, mostrou-se sensível a condições climáticas adversas, como chuva e ventos superiores a 36 km/h, e vulnerável a interferências externas, como ataques de aves.

Diante dessas limitações, recomenda-se a utilização de VANT com resistência à água e maior tolerância a ventos, bem como a instalação de protetores de hélices para aumentar a segurança operacional. Também é fundamental que o piloto mantenha atualização técnica contínua, realizando treinamentos periódicos. Por fim, o equipamento deve passar por manutenções regulares, conforme orientações do fabricante, a fim de assegurar o desempenho adequado de câmeras, sensores e componentes essenciais ao voo.

4.3 Sugestões para estudos futuros

Estudos futuros devem focar na ampliação da quantidade de estudos de caso, visando fortalecer a relação de incidência de manifestações patológicas, desenvolvendo um protocolo metodológico do emprego do VANT com câmera termográfica integrada para inspeção de danos em RELs, aplicando técnicas de automatização do processo de identificação, caracterização e classificação de anomalias, favorecendo a construção de mapas de danos e o monitoramento contínuo da infraestrutura hídrica, contribuindo ainda para o desenvolvimento de um banco de dados para treinamento de *machine learning* e análise baseada em inteligência artificial (CNNs e YOLO).

REFERÊNCIAS

AGISOFT PhotoScan. **User Manual:** Professional edition, Version 2.1. 2024. 231 p.

ALMEIDA, P. J. M. **Análise e avaliação do estado de conservação dos reservatórios elevados dos Serviços Municipalizados de Água e Saneamento de Almada.** Dissertação (Grau de Mestre em Engenharia e Gestão da Água) - Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2014.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **ABNT** N**BR 16747**: Inspeção predial – Diretrizes, conceito, terminologia e procedimento. Rio de Janeiro, 2020.

BALLESTEROS, R. D.; LORDSLEEM JÚNIOR, A. C. Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) para inspeção de manifestações patológicas em fachadas com revestimento cerâmico. **Ambiente Construído**, [S.L.], v. 21, n. 1, p. 119-137, jan. 2021. FapUNIFESP (SciELO). DOI: 10.1590/s1678-86212021000100497.

Departamento de Controle do Espaço Aéreo – DECEA. **Instrução do Comando da Aeronáutica – ICA 100-40:** Sistemas de aeronaves remotamente pilotadas e o acesso ao espaço aéreo brasileiro. Brasília, 2023.

Fundação Jorge Duprat Figueiredo de segurança e medicina do trabalho (FUNDACENTRO). Centro Técnico Nacional. São Paulo, 2022.

HELENE, P. R. L. **Contribuição ao estudo da corrosão em armaduras de concreto armado.** Tese (Livre Docência) – Escola Politécnica da USP. São Paulo, 1993.

HU, Dong *et al.* A comprehensive investigation of the microbial risk of secondary water supply systems in residential neighborhoods in a large city. **Water Research**, [S.L.], v. 205, p. 117690, out. 2021. Elsevier BV. DOI: 10.1016/j.watres.2021.117690.

IBAPE. **Norma de Inspeção Predial**. São Paulo: IBAPE. 2025. 27p.

MEDEIROS DA SILVA, E. G. et al. Inspection of elevated water reservoirs using unmanned aerial vehicle: case studies. **Structural Health Monitoring**, v. 00 (0), 2025.

OLIVEIRA, A. A. e*t al.* Inspeção de manifestações patológicas em fachadas utilizando aeronaves remotamente pilotadas. **Mackenzie**. São Paulo, 2021.

PIMENTEL, T. E. *et al.* Análise de manifestações patológicas e proposta de recuperação estrutural de um reservatório suspenso. **Revista Thema**, Pelotas, v. 19, n. 3, p. 760–773, 2021. DOI: 10.15536/thema. v. 19.2021.760-773.2151.

PITOMBEIRA, K. M.; REIS FILHO, A. A. Geração e análise de produtos cartográficos por fotogrametria com o uso de structure from motion – multi view stereo. **Brazilian Journals Editora.** ed. 1. 2020. 92 p.

SILVA, Everton Gabriel Medeiros da. **Inspeção de manifestações patológicas em reservatórios elevados de água com veículo aéreo não tripulado (VANT).** Dissertação (Mestrado – Construção Civil) Universidade de Pernambuco, Escola Politécnica de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2024.

SILVA, L. A. *et al.* Estudo sobre patologia estrutural em um reservatório de água de concreto armado. **Revista Augustus**, [S.L.], v. 25, n. 50, p. 66-80, 23 mar. 2020. Sociedade Unificada de Ensino Augusto Motta -UNISUAM. DOI: 10.15202/1981896.2020v25n50p66.

SILVA, L. S. e*t al.* Fotogrametria com imagens adquiridas com drones: do plano de voo ao modelo 3D. **Editora Universidade de Brasília**, Brasília, 2022.

SOUZA, A. K. L. **Identificação das manifestações patológicas em reservatório de água executado em concreto armado em condomínio unifamiliar – estudo de caso**. 2014. 45 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil - Especialização), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

TEIXEIRA, G.; SILVA, J.; ALVES, E. Principais manifestações patológicas de um edifício em Anápolis-GO. **CINPAR**, 2021.

TORETTI, G.; SPECK, J. A. **Proposta de metodologia para tratamento de patologias recorrentes em reservatórios de água potável, em concreto armado**. Artigo submetido ao Curso de Engenharia Civil da UNESC - como requisito parcial para obtenção do Título de Engenheiro Civil. 2017.