



Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbge>



Inspeção em Reservatórios Elevados de Água com Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT): revisão sistemática da literatura.

Everton Gabriel Medeiros da Silva¹, Alberto Casado Lordsleem Júnior², Jaime Joaquim da Silva Pereira Cabral³

¹ Pesquisador do do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PEC) da Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco (POLI-UPE). Rua Benfica, 455 - Madalena, CEP 50720-001, Recife – PE. egms@poli.br (autor correspondente). ² Docente Permanente do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil (PEC) da Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco (POLI-UPE). Rua Benfica, 455 - Madalena, CEP 50720-001, Recife – PE. acasado@poli.br. ³ Docente Permanente do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil (PEC) da Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco (POLI-UPE). Rua Benfica, 455 - Madalena, CEP 50720-001, Recife – PE. jaime.cabral@poli.br

Artigo recebido em 29/ 09 /2024 e aceito em 09 /12 /2024

RESUMO

O presente estudo tem como objetivo apresentar uma revisão sistemática da literatura (RSL) analisando a utilização do Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) como alternativa tecnológica eficiente para inspecionar reservatórios elevados de água (REL), bem como os equipamentos frequentemente embarcados e as principais manifestações patológicas que acometem os REL. A RSL foi realizada em três etapas: planejamento, execução e sumarização dos estudos levantados, realizando-se análise quantitativa e qualitativa dos achados. Foram selecionados 4798 artigos nas bases de dados Scopus, Web of Science, restaram 72 artigos eleitos para o estudo, seguindo a metodologia PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Engineering Village, Science Direct e Google Scholar. Após a aplicação de critérios de inclusão e exclusão, Analyses). Os resultados mostram o VANT como eficiente tecnologia para inspeções, auxiliado por ferramentas embarcadas, fotogrametria digital e tecnologias emergentes, como machine learning e rede neural convolucional. A RSL possibilitou identificar as principais manifestações patológicas incidentes nos REL, como fissuras, corrosão de armaduras e eflorescência, e analisar os autores, países, periódicos e bases de dados relevantes para o assunto. Como contribuição, os achados demonstraram o elevado potencial do VANT para atividades de inspeção em REL, por ser uma ferramenta ágil e adaptável para coletar dados e imagens, especialmente em locais de difícil acesso e com complexidade inerente à altura.

Palavras-chave: VANT; inspeção; manifestação patológica; reservatório elevado de água; revisão sistemática da literatura.

Inspection of Elevated Water Reservoirs with Unmanned Aerial Vehicle (UAV): systematic review of the literature.

ABSTRACT

The present study aims to present a systematic literature review (RSL) analyzing the use of the Unmanned Aerial Vehicle (UAV) as an efficient technological alternative to inspect elevated water reservoirs (REL), as well as the equipment frequently shipped and the main pathological manifestations that affect REL. The RSL was carried out in three stages: planning, execution and summarizing the studies collected, carrying out quantitative and qualitative analysis of the findings. 4798 articles were selected from the Scopus, Web of Science, Engineering Village, Science Direct and Google Scholar databases. After applying inclusion and exclusion criteria, 75 articles remained chosen for the study, following the PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) methodology. The results show the UAV as an efficient technology for inspections, supported by embedded tools, digital photogrammetry and emerging technologies, such as machine learning and convolutional neural networks. The RSL made it possible to identify the main pathological manifestations occurring in REL, such as cracks, reinforcement corrosion and efflorescence, and to analyze the authors, countries, journals and databases relevant to the subject. As a contribution, the findings demonstrated the high potential of the UAV for inspection activities in REL, as it is an agile and adaptable tool for collecting data and images, especially in places that are difficult to access and with complexity inherent to height.

Keywords: UAV; inspection; pathological manifestation; elevated water reservoir; systematic literature review.

Introdução

A água é um recurso estratégico para a humanidade, pois sustenta a biodiversidade e a produção de alimentos e suporta todos os ciclos naturais, sendo o mais crítico e importante elemento para a vida (Demae, 2022).

Diante da crescente escassez de água, não é admissível negligenciar o seu cuidado (Connor e Miletto, 2022), sendo a manutenção das instalações destinadas à distribuição de água – em especial, os reservatórios elevados de água - um dos principais desafios das administrações públicas em função da imperiosa necessidade de operação contínua (Kiliç et al., 2017; Tomaz et al., 2023).

Os reservatórios elevados são construções essenciais destinadas a receber água das estações de tratamento através das adutoras ou de reservatórios de maior volume, apoiados ou enterrados, a uma altura suficiente para que tenha pressão para alimentar o imprescindível sistema de distribuição de água para a população (Almeida, 2014; ABNT, 2017; Mahmud et al., 2021).

Os primeiros reservatórios que se tem notícia são as cisternas construídas 25 séculos a.C. em rochas sãs por civilização que deu origem à Grécia (Kirby et al., 1956). No Brasil, o primeiro reservatório foi construído em 1880 em alvenaria de pedra no Rio de Janeiro com capacidade de 80 milhões de litros (Teles, 1989). Já no Estado de Pernambuco, a Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA, 2024), relata que existem 1300 reservatórios, dentre os quais, os reservatórios elevados são responsáveis por cerca de 54% desse quantitativo.

Em obras de engenharia, o uso de reservatórios para armazenamento de líquidos é bastante comum (Borges, 2008; Arruda et al., 2023). Os reservatórios de acumulação servem para suprir o consumo quando a vazão do curso de água é insuficiente; enquanto, os reservatórios de distribuição são usados pelas comunidades e são construídos para garantir a quantidade necessária de água, melhorar a pressão da rede de distribuição e servir como reserva contra incêndio. Esse tipo de edificação é essencial para o funcionamento da sociedade (Ramos, 2010; Mahmud et al., 2021).

Segundo Almeida (2014) e Teixeira et al., (2021) os reservatórios elevados de água (REL's) são utilizados para abastecimento em regiões elevadas, pois suportam o tanque de água a altura suficiente para pressurizar a rede de distribuição, sendo capazes de operar sem a utilização de energia elétrica, quando cheios, necessitando apenas da pressão hidrostática produzida pela elevação em que se encontra o castelo d'água, essa pressão

equivale, para cada 10,2 cm de altura, a 1kPa de pressão, ou seja, para 30 m de elevação gera-se, aproximadamente, 300 kPa, sendo assim pressão suficiente para operar e fornecer a maioria dos requisitos de pressão de água.

Os REL's são compostos pelo tanque ou castelo d'água, tampa, torre – em fuste ou em vigas e pilares, conjuntamente, podendo apresentar suas estruturas de sustentação expostas ou embutidas (Stand Pipe), além da fundação (Souza, 2014; Pimentel et al., 2021).

Costa (1998) e Toretti e Speck (2017) informam que o concreto armado é o material com maior utilização para a confecção dos reservatórios elevados de água devido a sua capacidade de assumir formas distintas e variadas, capacidade resistiva, durabilidade, estanqueidade e por apresentar menor custo. No entanto, devido às condições de exposição climática e ambiental do local onde estão dispostos, somados à ausência de manutenção dos reservatórios elevados de água construídos em concreto armado têm a sua vida útil reduzida (Silva et al., 2020).

As propriedades físicas e químicas do concreto armado sofrem alterações com o passar do tempo devido às características e interações de seus componentes e suas reações aos fatores externos ocasionando manifestações patológicas que, se não tratadas, podem comprometer o desempenho das edificações de concreto, pois detêm inúmeros agentes deletérios advindos de fatores diversos, como: fatores físicos, químicos, biológicos, antrópicos e naturais (Souza e Ripper, 1998; Gaboardi, 2019).

Diversos fatores contribuem para o surgimento de manifestações patológicas em REL's, dentre eles: erros em projeto, anomalias executivas, mão-de-obra e materiais, podendo ainda serem analisados pela fase da construção, onde o projeto é responsável por 40% das ocorrências, execução – 28% – materiais – 18% – uso – 10% – e planejamento – 4%, e as principais manifestações patológicas detectadas nessas edificações, são: corrosão das armaduras, fissuras e trincas, infiltrações e vazamento na câmara, eflorescências, ação de agentes biológicos e deslocamento (Helene, 2003; Oliveira, 2013; Tinoco e Moraes, 2013; Costa et al., 2017; Barbosa et al., 2022; Batista, 2022; Renzo e Roque, 2022;).

Para detectar as manifestações patológicas que acometem os reservatórios elevados de água é necessário inspecionar toda a estrutura, por ser este um procedimento técnico eficaz e crucial para reduzir os acidentes de construção; seus processos

principais baseiam-se na análise sistêmica e principalmente sensorial das condições técnicas, de uso, operação, manutenção e funcionalidade da edificação e de seus sistemas e subsistemas construtivos (IBAPE, 2021).

A atividade de inspeção, de acordo com Pereira (2014); Al-Gburi et al., (2022); Hu et al. (2021) e Pereira et al. (2022), torna-se um desafio quando precisa ser desenvolvida em reservatórios elevados, pois, elementos como altura, tamanho, acessibilidade, exposição e condição do meio em que se encontra o reservatório, proporcionam elevado grau de complexidade e risco para realização da atividade.

As inspeções das manifestações patológicas em REL são realizadas através de profissional de alpinismo industrial certificado, conforme NBR – 15475, realizando descidas em torno da edificação, equipado por equipamentos de proteção individuais - EPI's (cinto de segurança do tipo paraquedista, luvas, botas, óculos de proteção e capacete) e equipamentos de proteção coletiva - EPC's (fita para isolamento da área, caixa de primeiros socorros e placas indicativas, incluindo a utilização de tripé de ancoragem móvel e ant queda com guincho de resgate, quando necessário, visando assegurar a redução do risco de queda em altura (Magalhães, 2018).

Mohammadi (2021) expõe que, para realizar este tipo de trabalho, é necessário o conhecimento das normas vigentes, além de treinamentos, certificações do pessoal envolvido na atividade e de equipamentos adequados e, principalmente, o acompanhamento de profissional técnico responsável, engenheiro ou arquiteto. A ancoragem do equipamento precisa ser ensaiada por empresa especializada para garantir o suporte da carga que será aplicada e as condições climáticas também precisam ser avaliadas no momento da realização do trabalho, reduzindo-se a possibilidade de acidentes.

De acordo com a Fundação Jorge Duprat e Figueiredo (FUNDACENTRO, 2022), a queda em altura é o principal motivo de acidentes fatais na construção civil. 52,9% dos acidentes por queda em altura aconteceram durante os serviços de manutenção, incluso a inspeção, reparo e reabilitação das estruturas prediais habitacionais e comerciais, com taxa de recorrência de 16,2%. Os acidentes relacionados ao trabalho em altura na construção civil apresentam relevante crescimento, onde, atualmente, representam 40% dos acidentes na indústria da construção, atualmente, resultando em 376 óbitos (Oliveira, 2023; Almeida Filho, 2024).

Além do risco aos trabalhadores, esse tipo de inspeção, com alpinista industrial, demanda altos custos e tempo excessivo, quando comparada à utilização do Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT), tecnologia em crescente e constante desenvolvimento, capaz de realizar tomadas de imagens e filmagens aéreas em alta resolução de todo o entorno dos REL's, buscando identificar manifestações patológicas, podendo ser facilmente substituído em caso de acidentes (Oliveira et al., 2021).

Analisando-se a eficácia do VANT, Oliveira et al. (2021) expõe, ainda, que o custo para inspecionar um reservatório elevado de água pode ser reduzido em 200% através da utilização do veículo aéreo não tripulado. Analisando-se o tempo, é possível realizar em 3 horas o que, antes do emprego do VANT, seria realizado entre 3 a 8 dias, a depender da complexidade, proporcionando, consequentemente, redução da mão-de-obra, maior produtividade, melhor precisão e redução dos riscos de acidentes ao pessoal envolvido.

O VANT é definido pelo Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA, 2023a), através do Manual do Comando da Aeronáutica – MCA 56-5, como: qualquer dispositivo projetado para funcionar sem um piloto a bordo, capaz de manter-se na atmosfera através de reações com o ar sem auxílio da superfície terrestre.

Países como Estados Unidos e Canadá, na América do Norte, e Argentina e Brasil, na América do Sul, possuem, individualmente, suas próprias regulamentações para operações que envolvam a utilização de aeronaves não tripuladas, no entanto, seguem as diretrizes da Organização da Aviação Civil Internacional (OACI), responsável por fornecer o quadro regulamentar internacional através de Normas e Práticas Recomendadas (SARPs), com Procedimentos de Apoio para Serviços de Navegação Aérea (PANS) e orientação material, para sustentar a operação rotineira dos Sistemas de Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPAS) em todo o mundo de maneira segura, harmonizada e contínua, comparável ao das operações tripuladas (OACI, 2015).

Os órgãos do governo responsáveis pela regulamentação dos VANT's e sua operação em território brasileiro, são: Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) – Responsável pela legislação que envolve as atividades com a utilização de aeronaves não tripuladas, além de registro e cadastro do VANT, bem como dos pilotos – DECEA – Organismo encarregado pelo monitoramento do espaço aéreo nacional, onde, através do Sistema de Aeronaves Remotamente

Pilotadas (SARPAS), monitora os voos realizados por aeronaves não tripuladas – Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL) – Entidade incumbida de regulamentar os equipamentos de telecomunicações, incluem-se as aeronaves não tripuladas ou remotamente pilotadas (ANAC, 2017).

As Aeronaves Não Tripuladas são divididas em 3 categorias (OACI, 2015; DECEA, 2023b; DECEA, 2023c):

a) Aeronave Remotamente Pilotada (RPA) ou Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) - aeronave não tripulada controlada a partir de dispositivo remoto (controle remoto, computador ou simulador), utilizada para fins experimentais, comerciais, institucionais e profissionais;

b) Aeronave Autônoma ou Autonomous Aircraft (AA) – trata-se de aeronave não tripulada onde suas configurações de voo são predeterminadas antes da sua operação, não permitindo a intervenção do piloto na gestão do voo durante a atividade em curso. Atualmente, este modelo de aeronave está proibido de realizar voos no espaço aéreo brasileiro;

c) Aeromodelismo ou Model Aircraft (MA) – aeronave não tripulada pilotada remotamente, utilizada exclusivamente para fins recreativos.

A ANAC (2023) classifica os VANTs em três categorias com base no peso máximo de decolagem (PMD): Classe 1 (acima de 150 kg), Classe 2 (de 25 kg até 150 kg) e Classe 3 (até 25 kg, incluindo aeromodelos).

Mithra e Malleswari (2021) acrescentam que os VANT's também são classificados de acordo com o modo de pouso e decolagem (horizontal e vertical), aerodinâmica da aeronave (asa fixa, multirotor, asas batidas e dirigíveis) e altitude alcançada pela aeronave não tripulada.

Os VANTs de asas fixas, que decolam e pousam horizontalmente, cobrem grandes áreas com maior velocidade e altura de voo, mas apresentam baixa resistência ao vento e menor precisão geométrica em levantamentos (Martins Neto e Breunig, 2019; Gonçalves e Cavichioli, 2021). Em contrapartida, os VANTs multirrotores, com decolagem e pouso vertical, possuem maior resistência ao vento, precisão e flexibilidade em áreas pequenas, além de possibilitar mudanças de direção com eficiência. Esses modelos são classificados de acordo com o número de braços ou trens de pouso, como quadricópteros, hexacópteros e octacópteros (Duffy, 2020; Choi et al., 2023; Jesus e Peres, 2023).

Os modelos dirigíveis, por sua leveza, são sensíveis ao vento, limitando sua operação em condições adversas e tornando-os pouco confiáveis para coleta de dados precisos. Além disso, a dependência de gás hélio apresenta desafios logísticos significativos (Duffy, 2020; Sacramento, 2021). Já os VANTs de asas batidas possuem asas flexíveis inspiradas em pássaros e insetos voadores, sendo uma tecnologia emergente com características únicas (Ruiz, 2020; Rosa et al., 2021).

Além disso, o regulamento RBAC-94 (ANAC, 2017) define os tipos de operação dos VANTs, como: BVLOS (além do alcance visual), VLOS (dentro do alcance visual direto) e EVLOS (com auxílio de observadores e/ou equipamentos).

As operações podem ser classificadas, adicionalmente, conforme a finalidade do uso do VANT, divididas em operação experimental, quando o voo não visa atender a fins lucrativos; operação comercial, destinada a voos realizados por empresas, profissionais ou equipe terceira contratada por outro indivíduo ou instituição de natureza pública ou privada; e a operação corporativa, realizada por empresas, corporações e instituições para fins profissionais (ANAC, 2017).

As operações com VANT no espaço aéreo brasileiro devem, também, seguir regras específicas em áreas de proximidade com Zona de Aproximação ou de Decolagem (ZAD), Zona de Entorno de Aeródromo (ZEA), Zona de Entorno de Heliponto (ZEH) e Zona de Restrição de Voo ou Flight Restriction Zone (FRZ), observando as condições de altura/altitude, entre 100 e 400 pés, e distanciamento, entre 1740 m e 6320 m, que devem ser respeitadas (DECEA, 2023b).

Diversos autores (Ali Alheeti et al., 2022; Danajitha et al., 2022; Xu e Turkan, 2022; Arruda et al., 2023; Ding et al., 2023; Ko et al., 2023; Liang et al., 2023; Wang et al., 2023; Wang e Ueda, 2023; Woo et al., 2023; Zhao et al., 2023) vêm empregando o VANT na indústria da construção devido à sua versatilidade, adaptabilidade, agilidade, precisão e manobrabilidade para diferentes fins, desde monitoramento do canteiro de obra, manutenção, inspeção e até mesmo para o incremento da segurança no ambiente de trabalho, contribuindo, ainda, para reduzir custos e riscos.

Nesse contexto, a RSL é fundamental para integrar e analisar estudos sobre o uso dos veículos aéreos não tripulados na inspeção de manifestações patológicas em reservatórios elevados de água. Esses reservatórios, cruciais para a distribuição de água potável, podem enfrentar problemas estruturais que são eficientemente detectados por

VANTs equipados com tecnologias avançadas, como câmeras de alta resolução e softwares de fotogrametria digital, reduzindo custos, tempo e riscos. A revisão sistemática da literatura consolida conhecimentos, identifica lacunas e contribui para o desenvolvimento de práticas tecnológicas inovadoras na inspeção de REL e para a sustentabilidade das infraestruturas hídricas.

Assim, formulou-se a hipótese de que a utilização de veículos aéreos não tripulados pode aprimorar a atividade de inspeção de manifestações patológicas em reservatórios elevados de água, proporcionando benefícios para os processos técnicos envolvidos. Portanto, foi realizada a pesquisa para comprovar a hipótese.

Destarte, o objetivo deste estudo é realizar uma revisão sistemática da literatura, investigação científica que visa consolidar, analisar criticamente e sintetizar os resultados provenientes de múltiplos estudos primários, proporcionando uma avaliação integrada e rigorosa das evidências disponíveis, de forma a identificar os VANT's, equipamentos e tecnologias utilizados para inspecionar RELs, evidenciando os seus benefícios e eficácia, e identificar as principais manifestações patológicas que acometem os reservatórios elevados de água.

Desenvolvimento

Este estudo baseou-se na metodologia empregada por Keele et al. (2007) e Page et al. (2021), os quais definem Revisão Sistemática da Literatura (RSL) como análise específica de um determinado assunto levando em consideração suas particularidades, buscando elucidar as respostas da investigação através de trabalhos relevantes disponíveis.

Para estruturar a RSL realizou-se planejamento, elaborando o protocolo de pesquisa, execução, desenvolvida por meio de levantamento e seleção dos estudos, e sumarização, que consiste no tratamento e análise dos dados, alcançando, respectivamente, o protocolo da revisão, busca, seleção dos trabalhos, tratamento e análise dos dados a serem estudados.

Através da RSL, objetivou-se investigar a utilização do veículo aéreo não tripulado como inovação tecnológica nos trabalhos de inspeção de reservatórios elevados, servindo ainda como mitigador dos riscos que envolvem a atividade, buscando descobrir informações importantes que suportem a metodologia analítica de reservatórios elevados de água.

Para tanto, formulou-se as seguintes questões de pesquisa:

- Quais as principais manifestações patológicas que acometem os reservatórios elevados de água?

- Quais os VANT's e equipamentos utilizados nos estudos eleitos para a pesquisa?

- Quais os benefícios do emprego do VANT para a atividade de inspeção em reservatórios elevados de água?

O protocolo de pesquisa, de acordo com Page et al. (2021), desenvolveu-se durante a etapa de planejamento da RSL. Nessa fase, são especificadas as informações necessárias para conduzir a revisão de forma sistemática. Na definição dos termos de busca, foi empregada a estratégia PICO, que consiste em extrair da formulação das questões de pesquisa os elementos essenciais: População (P), Interesse (I) e Contexto (Co), cujas definições foram: Saneamento Básico; Reservatórios elevados de água; Inspeção de reservatório elevado de água com veículo aéreo não tripulado (VANT). Essas definições são fundamentais para direcionar a busca de estudos relevantes (Akobeng, 2005). Em seguida, foram estabelecidos os critérios de exclusão, inclusão e qualidade, conforme Quadro 01.

Após determinação dos critérios PICO, de inclusão e exclusão, determinou-se a string de busca realizando combinações entre os termos estabelecidos para a População, Interesse e Contexto e seus sinônimos. Essas combinações eram realizadas nas bases de buscas utilizando-se, além das palavras predeterminadas, os conectores AND e OR, além das aspas duplas (“),

Os termos foram analisados individualmente e combinados entre si. As bases de dados escolhidas para as buscas foram: Engineering Village, Scopus, Web of Science, Science Direct, Scielo e Google Scholar por conterem grande aparato técnico-científico, possibilitando o retorno de número importante e expressivo para a busca inicial. Os termos utilizados na busca foram: “PUMPING STATION” OR “WATER SUPPLY” OR “WATER TANK” OR “WATER RESERVOIR” OR “WATER COLUMN” OR “WATER COLUMNS” OR “WATER TANKS” OR “WATER RESERVOIRS” AND RAISED OR LIFTED OR HIGH OR ELEVATED OR LOFTY OR INCREASED OR UPPER OR COCKED AND OVERSIGHT OR SUPERVISION OR INSPECTION OR INVESTIGATION OR EXAMINATION OR RESEARCH OR INSPECTORATE AND UAS OR HAV OR “UNMANNED AERIAL VEHICLES” OR UAV

OR RPA OR VANT OR DRONES OR DRONE
AND “PATHOLOGICAL MANIFESTATION”.

Quadro 01 - Critérios PICO, de inclusão e exclusão.

Critério PICO		Critérios de inclusão e exclusão			
Critérios	Descrição	Cód.	Inclusão	Cód.	Exclusão
População	Saneamento Básico	CI1	Idioma	CE1	Artigos de Revisão Sistemática de Literatura (RSL)
			Inglês, Português e Espanhol		
Interesse	Reservatórios elevados de água	CI2	Tipo de documento	CE2	Artigos Duplicados
			Artigo, Artigo de Jornal, Congresso, Capítulo de Livro e Trabalho Acadêmico.		
Contexto	Inspeção de reservatório elevado de água com veículo aéreo não tripulado (VANT).	CI3	Categoria	CE3	Artigos que não apresentem os termos de busca no título, no resumo e nas palavras-chaves
			Arquitetura, Engenharia e Construção		
		CI4	Artigos que datam de 2014 a 2024	CE4	Artigos que não apresentem contributos a este trabalho
		CI5	Artigos disponíveis integralmente	CE5	O estudo não está disponível para leitura integral
Critérios de qualidade					
Cód.	Descrição				
CQ1	Estudos que abordem Inspeção de Reservatórios.				
CQ2	Estudos que utilizem Metodologia clara, objetiva e coesão textual.				
CQ3	Estudos que apresentem justificativas e relevância para o tema.				
CQ4	Estudos que apresentem tratamento amostral e procedimentos estatísticos adequados.				

Como premissa de aceitação ou rejeição da base de busca, analisou-se o quantitativo obtido na busca primária, sendo rejeitada a fonte de dados com resultado quantitativo menor que 20 documentos encontrados, bem como as que impossibilitem os filtros estabelecidos no protocolo, sendo assim excluída a base de dados Science Direct por retornar apenas 7 artigos e estes documentos não apresentarem relação ao assunto aqui estudado.

Desta forma, restaram as bases de dados: Scopus, com 2374 estudos, Web of Science, 1172 estudos, Engineering Village, 887 estudos, e Google Scholar, 365 estudos para seleção.

Durante a pesquisa, foram inclusos artigos de periódicos, capítulos de livros, artigos de conferência e trabalhos acadêmicos. Com o uso dos filtros das bases de dados, ainda é possível restringir o idioma dos estudos (inglês, português e espanhol) e o período pretendido de 2014 a 2024 (10 últimos anos), conforme o protocolo.

Após estabelecidos os critérios, string, estrutura da RSL e levantamento dos estudos nas bases de dados, realizou-se as exportações dos dados, em formato RIS, a partir das bases de dados,

para tratamento no software *Rayyan*, para organizar e direcionar a seleção dos artigos.

Após aplicação de filtros no software de tratamento de dados, *Rayyan*, foram excluídos os artigos de revisão sistemática da literatura (RSL) (CE1), 58 estudos; em seguida foram excluídos os artigos duplicados (CE2), 439 estudos; após, através da leitura do título e resumo dos artigos foram excluídos os estudos que não apresentem os termos de busca no título, no resumo e nas palavras-chaves (CE3), 3807 estudos; através da leitura dos artigos foram excluídos os artigos que não apresentem contributos a este trabalho (CE4), 311 estudos, por fim, foram excluídos os estudos que não estavam disponíveis para leitura integral (CE5), 89 estudos, resultando em 94 estudos para leitura integral. Após, foram identificados mais 22 estudos que não contribuíam para o desenvolvimento desta pesquisa, restando assim 72 artigos para a análise quantitativa e qualitativa.

A fim de elaborar o relato desta RSL, adotou-se a utilização do Diagrama de Fluxo para revisão sistemática da literatura - PRISMA (PRISMA, 2020). A Figura 01 detalha o fluxo adotado para realizar a RSL.

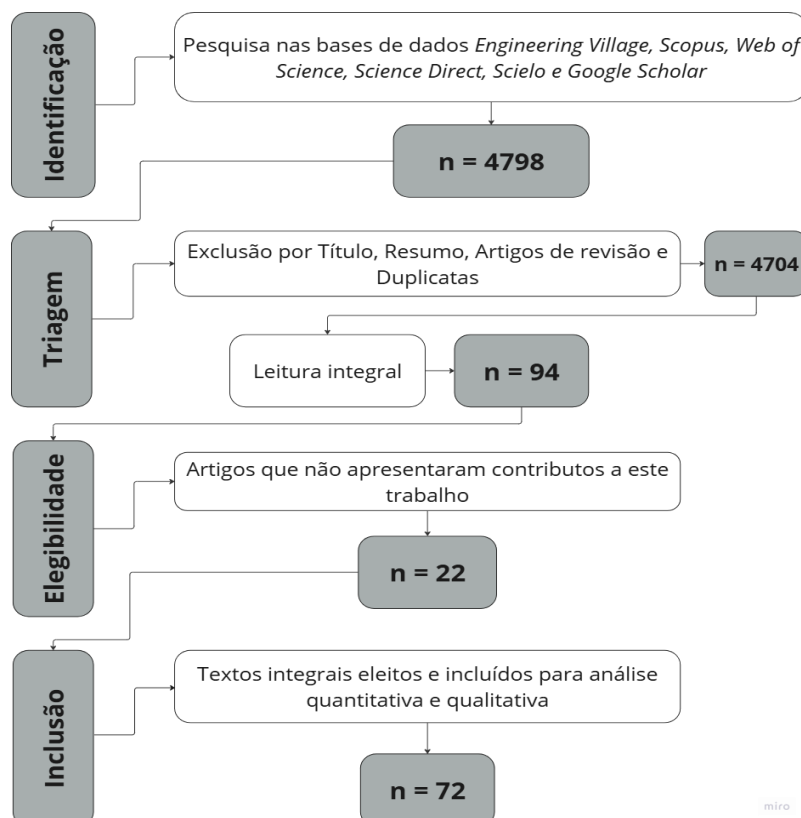


Figura 01 – Fluxograma para seleção dos artigos da revisão sistemática da literatura.

A análise dos dados coletados foi realizada por meio de estatística exploratória-descritiva, com o objetivo de caracterizar as principais manifestações patológicas detectadas nos RELs e identificar os principais equipamentos e tecnologias utilizadas. Foram calculadas as frequências absolutas para categorizar os tipos de patologias detectadas, como fissuras, corrosão e eflorescências, além de avaliar a distribuição dos métodos de inspeção e tecnologias empregadas, identificando, ainda, os países, autores, periódicos

e bases de dados com maior contribuição para este estudo, fundamentando a análise dos dados do levantamento bibliométrico.

Os resultados obtidos através da pesquisa exploratória serão apresentados pelo conjunto dos achados quantitativos e qualitativos alcançados na revisão sistemática da literatura organizados em portfólio descritivo de cada trabalho levantado em ordem decrescente a partir do ano de publicação (do mais recente para o mais antigo).

O portfólio dos 72 artigos selecionados, encontra-se expresso através do Quadro 02.

Quadro 02 – Portfólio dos artigos selecionados para a pesquisa.

Nº	Ano	Autor	Título	Periódico	País	Citações
1	2023	Ding <i>et al.</i>	Crack detection and quantification for concrete structures using UAV and transformer	Automation in construction	Ucrânia	4
2	2023	Woo <i>et al.</i>	Defining structural cracks in exterior walls of concrete buildings using an unmanned aerial vehicle	Drones	Coréia do Sul	1
3	2023	Ko; Prieto; De Soto	Developing a free and Open-Source Semi-Automated building exterior crack inspection software for construction and facility managers	IEEE Access	Emirados Árabes	0
4	2023	Hamdan; Libânio; Costa	Proposal of a regulatory index of quality of water supply services-RIQS	Environmental science and pollution research	Brasil	68
5	2023	Davies <i>et al.</i>	A Novel method for concrete crack detection using image processing technique	Proceedings of the ACCTHPA 2023	Índia	0
6	2023	Woo; Hong; Oh; Baek.	Defining structural cracks in exterior walls of concrete buildings using an unmanned aerial vehicle	Drones	Coreia do Sul	0
7	2023	Liang <i>et al.</i>	Towards UAVs in construction: advancements, challenges, and future directions for monitoring and inspection	Drones	Coreia do Sul	0
8	2023	Wang <i>et al.</i>	Crack detection of old residential buildings based on UAV intelligent vision	Mechanisms and Machine Science	China	0
9	2023	Wang, J.; Ueda, T.	Evaluation of the application of Unmanned Aerial Vehicle technology on damage inspection of reinforced concrete buildings	Lecture Notes in Civil Engineering	Japão	0
10	2023	Arruda <i>et al.</i>	Structural assessment of a water reservoir masonry vaulted roof from the nineteenth century	Journal of performance of constructed facilities	Portugal	N.I

Quadro 02 – Portfólio dos artigos selecionados para a pesquisa (continuação).

11	2023	Khosravi; Goudarzi.	Seismic risk assessment of on-ground concrete cylindrical water tanks	Innovative infrastructure solutions	Irã	N.I
12	2023	Zhao <i>et al.</i>	Intelligent segmentation and change detection of dams based on UAV remote sensing images	Remote Sensing	China	N.I
13	2023	Santana <i>et al.</i>	Fissuras em reservatório elevado de concreto armado—estudo de caso.	UNIFG	Brasil	N.I
14	2022	Batista	Estudo das manifestações patológicas e técnicas de reparos nas estruturas dos reservatórios elevados da cidade de São José de Piranhas/PB	IFPB	Brasil	N.I
15	2022	Kim; Sim; Spencer	Automated concrete crack evaluation using stereo vision with two different focal lengths	Automation in construction	USA	19
16	2022	Ivorra <i>et al.</i>	Failure analysis of the collapse of a raised steel wine tank	Engineering Failure Analysis	Espanha	1
17	2022	Mendes <i>et al.</i>	Working safely with drones: a virtual training strategy for workers on heights	Construction Research Congress 2022: Health and Safety, Workforce, and Education	EUA	1
18	2022	Mazibuko; Smallwood.	Improving health and safety (h&s) on south african construction projects with industry 4.0	International Conference on Construction in the 21st Century	África do Sul	0

Quadro 02 – Portfólio dos artigos selecionados para a pesquisa (continuação).

19	2022	Ali Alheeti <i>et al.</i>	Intelligent mobile detection of cracks in concrete utilising an unmanned aerial vehicle	Bulletin of Electrical Engineering and Informatics	Indonésia	2
20	2022	Xu; Turkan.	The development of a safety assessment model for using Unmanned aerial systems (UAS) in construction	Safety Science	EUA	0
21	2022	Xiong <i>et al.</i>	UAV inspection monitoring and management system based on wireless sensing technology	2022 IEEE, ICETCI 2022	China	1
22	2022	Danajitha <i>et al.</i>	Detection of cracks in high rise buildings using drones	ICESC 2022	Índia	0
23	2022	Al-Gburi; Jonasson; Nilsson.	Reducing thermal crack risks caused by restraint in young concrete - a case study on walls of water tanks	NORDIC CONCRETE RESEARCH	Suécia	N.I
24	2022	Grippa <i>et al.</i>	Inspection of ship hulls with multiple uavs: exploiting prior information for online path planning	CONF	Japão	N.I
25	2022	Tomé	Manifestações patológicas em um reservatório elevado de água: um estudo de caso na vila Antonico-Quixelô/CE	Universidade Federal Rural do Semi-Árido	Brasil	N.I
26	2022	Pereira <i>et al.</i>	In-service failure of mechanically galvanised low alloy steel bolts of three 25,000 m3 bolted water tanks	Engineering Failure Analysis	Brasil	N.I
27	2022	Barros <i>et al.</i>	Avaliação de manifestações patológicas em reservatórios de água tratada em concreto armado no município de Guaratinguetá/SP	CBPAT	Brasil	N.I

Quadro 02 – Portfólio dos artigos selecionados para a pesquisa (continuação).

28	2021	Ballesteros; Lordsleem Junior	Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) para inspeção de manifestações patológicas em fachadas com revestimento cerâmico	Ambiente Construído	Brasil	6
29	2021	Quillfeldt	Estudo sobre o saneamento da aldeia Mbyá-Guarani Tekoá V'ya (Aldeia Feliz), Major Gercino/Sc: diagnóstico sobre o saneamento e proposições de soluções para o abastecimento de água e esgotamento sanitário da aldeia	UFSC	Brasil	N.I
30	2021	Hu <i>et al.</i>	A comprehensive investigation of the microbial risk of secondary water supply systems in residential neighborhoods in a large city	Water Research	China	15
31	2021	Lee <i>et al.</i>	A dengue outbreak in a rural community in Northern Coastal Ecuador: An analysis using unmanned aerial vehicle mapping	PLoS Neglected Tropical Diseases	EUA	9
32	2021	Hurst <i>et al.</i>	Aerial photogrammetry in the american west: documenting the construction of cattle water tanks by Texas Cowboys	Heritage	EUA	60
33	2021	Mahmud <i>et al.</i>	Multi-objective route planning for underwater cleaning robot in water reservoir tank	Journal of Intelligent and Robotic Systems: Theory and Applications	Malásia	16
34	2021	Makoko; Wozei; Birungi	Relationship between water quality and physical conditions of domestic storage tanks supplied by a water utility in a rapidly growing city	Water SA	Uganda	0
35	2021	Falorca; Miraldes; Lanzinha.	New trends in visual inspection of buildings and structures: Study for the use of drones	Open Engineering	Portugal	9
36	2021	Johansen <i>et al.</i>	Autonomous safety barrier inspection in construction: an approach using unmanned aerial vehicles and SafeBIM	Proceedings of the International Symposium on Automation and Robotics in Construction	EUA	1

Quadro 02 – Portfólio dos artigos selecionados para a pesquisa (continuação).

37	2021	Bouzan, <i>et al.</i>	Building facade inspection: a system based on automated data acquisition, machine learning, and deep learning image classification methods	ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences	Brasil	1
38	2021	Liu <i>et al.</i>	Framework for automated UAV-based inspection of external building façades	Advances in 21st Century Human Settlements	Singapura	1
39	2021	Song <i>et al.</i>	Development of safety-inspection-purpose wall-climbing robot utilizing aerial drone with lifting function	UR 2021	Coreia do Sul	2
40	2021	Mohammad <i>et al.</i>	A generic approach for automatic crack recognition in buildings glass façade and concrete structures	Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering	EUA	0
41	2021	Pimentel <i>et al.</i>	Análise de manifestações patológicas e proposta de recuperação estrutural de um reservatório suspenso	Revista Thema	Brasil	N.I
42	2021	Teixeira; Silva; Alves.	Principais manifestações patológicas de um edifício em Anápolis-GO	CINPAR	Brasil	N.I
43	2020	Silva <i>et al.</i>	Estudo sobre patologia estrutural em um reservatório de água de concreto armado	Revista Augustus	Brasil	N.I
44	2020	Araújo <i>et al.</i>	Avaliação de manifestações patológicas com uso de drone	CBPAT	Brasil	N.I

Quadro 02 – Portfólio dos artigos selecionados para a pesquisa (continuação).

45	2020	Kadapala <i>et al.</i>	Capacity estimation of irrigation tanks through remote sensing from UAV Platform	Journal of the indian society of remote sensing	Índia	11
46	2020	Gaviria-Montoya; Pino-Gómez e Soto-Córdoba	Risk associated with the water infrastructure in rural water suppliers in Turrialba Cartago, Costa Rica	Sustainable water resources management	Costa Rica	21
47	2020	Zheng, Z.J.; Pan, M. e Pan, W.	Virtual prototyping-based path planning of unmanned aerial vehicles for building exterior inspection	ISARC 2020	China	2
48	2020	Alizadehsalehi <i>et al.</i>	The effectiveness of an integrated BIM/UAV model in managing safety on construction sites	International Journal of Occupational Safety and Ergonomics	Polônia	54
49	2020	Kim; Irizarry.	Knowledge-based considerations for developing UAS operational procedures on infrastructure and construction task environments	Construction Research Congress 2020	EUA	3
50	2020	Mak; Lees.	Assessment of corrosion-induced bond deterioration in reinforced concrete: Towards a splitting crack-based approach	IABSE Congress	Suíça	0
51	2020	Cao <i>et al.</i>	Online trajectory correction and tracking for facade inspection using autonomous UAV	IEEE, ICCA	China	2
52	2020	Sangiorgio <i>et al.</i>	Failure analysis of reinforced concrete elevated storage tanks	Engineering failure analysis	Espanha	N.I
53	2020	Castro <i>et al.</i>	An UAV and satellite multispectral data approach to monitor water quality in small reservoirs	Remote Sensing	Espanha	N.I

Quadro 02 – Portfólio dos artigos selecionados para a pesquisa (continuação).

54	2020	Souza <i>et al.</i>	Análise das manifestações patológicas na estação de tratamento de água de Juru-PB	CBPAT	Brasil	N.I
55	2020	Okon; Okon; Udom.	Water infrastructure maintainability–issues and challenges in the coastal regions of Akwa Ibom State	Nigerian Journal of Technology	Nigéria	N.I
56	2019	Mokhtar <i>et al.</i>	Inspection analysis of historic buildings with aid of “unmanned aerial vehicle” (UAV)	International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering	Malásia	1
57	2019	Lee; Bae; Ju.	Preliminary safety evaluation method of buildings using Unmanned Aerial Vehicle (UAV)	20th Congress of IABSE, New York City 2019	EUA	3
58	2019	Li; Liu.	Applications of multirotor drone technologies in construction management	International Journal of Construction Management	EUA	301
59	2019	O’Riordan-Adjah; MacKenzie.	Investigating unmanned aerial vehicles (UAVs) for vertical structural inspection and analysis	International Conference on Sustainable Infrastructure 2019	EUA	1
60	2019	Maia.	Estudo de caso sobre as manifestações patológicas em um reservatório de água elevado no município de Rafael Fernandes - RN	Universidade Federal Rural do Semi-árido	Brasil	N.I
61	2019	Bach	Determinación y evaluación de las patologías del concreto armado del tanque elevado de agua potable nº 17 de 1000 m3, ubicado en el centro poblado Monte Sullón, distrito de Catacaos, provincia y región Piura, Febrero	Universidad Católica Los Ángeles Chimbote	Peru	N.I
62	2018	Farias	Patologias em reservatórios de água com estruturas de concreto armado: manutenção, tratamento, recuperação e reforço	Unianhanguera	Brasil	N.I
63	2018	Corrêa; Girardi	Análise da evolução dos parâmetros de dimensionamento de reservatórios em concreto	Revista de Engenharia Civil IMED	Brasil	N.I

Quadro 02 – Portfólio dos artigos selecionados para a pesquisa (continuação).

64	2018	Noronha	Estudo multicaso de manifestações patológicas em reservatórios de concreto armado na cidade de Tabuleiro do Norte - CE	Universidade Federal Rural do Semi-Árido	Brasil	N.I
65	2017	Toretti; Speck	Proposta de metodologia para tratamento de patologias recorrentes em reservatórios de água potável, em concreto armado	UNESC	Brasil	N.I
66	2017	Costa; Maia; Barbosa	Identificação de patologias em reservatórios de concreto armado em Juazeiro/BA	CONPAR	Brasil	N.I
67	2017	Santana	Levantamento de manifestações patológicas em reservatórios de concreto armado no município de A/RS	UNIPAMPA	Brasil	N.I
68	2017	Nayak; Thakare	Investigation of Corrosion Status in Elevated Water Tank by using Non-Destructive Techniques in Baramati Region	NICMAR	Índia	5
69	2016	Torres; Silva; Paliga	Análise das manifestações patológicas em reservatórios elevados na cidade de Pelotas/RS	REEC – Revista Eletrônica de Engenharia Civil	Brasil	N.I
70	2015	Arnuti	Avaliação das condições de durabilidade dos reservatórios em concreto armado do sistema de abastecimento de água da cidade de Palmas - TO	ULBRA	Brasil	N.I
71	2014	Almeida	Análise e avaliação do estado de conservação dos reservatórios elevados dos Serviços Municipalizados de Água e Saneamento de Almada	Universidade Nova de Lisboa	Portugal	N.I
72	2014	Souza	Identificação das manifestações patológicas em reservatório de água executado em concreto armado em condomínio unifamiliar – estudo de caso	UTFPR	Brasil	N.I

N.I – Não Identificado.

Análise quantitativa

Esta fase caracteriza-se pela busca nas bases de dados. Conforme determinado no protocolo de pesquisa, foram atribuídas as limitações utilizando-se os filtros disponíveis nas próprias bases. Desta forma, inicialmente obteve-se um total de 4798 artigos encontrados, conforme distribuição apresentada pela Figura 02.

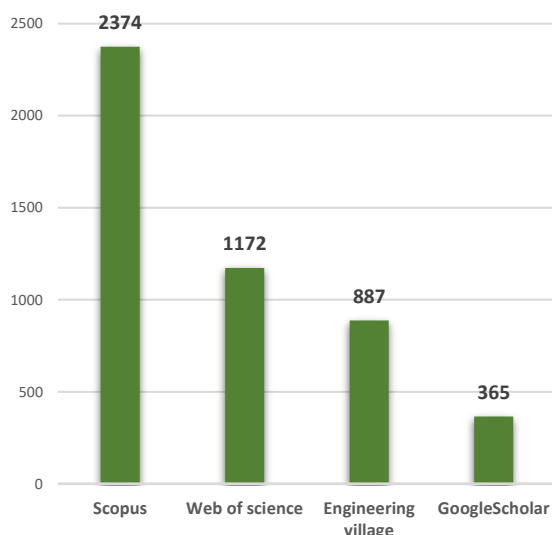


Figura 02 – Distribuição por bases de dados.

Analisando-se o Quadro 04 é possível observar o quantitativo anual de estudos publicados sobre o assunto, os periódicos com maior contribuição para este trabalho, os países que mais contribuíram para o assunto estudado, autores com maior quantidade de citações e incidência de manifestações patológicas, os quais apresentam-se sintetizados através das Figuras 03 a 07.

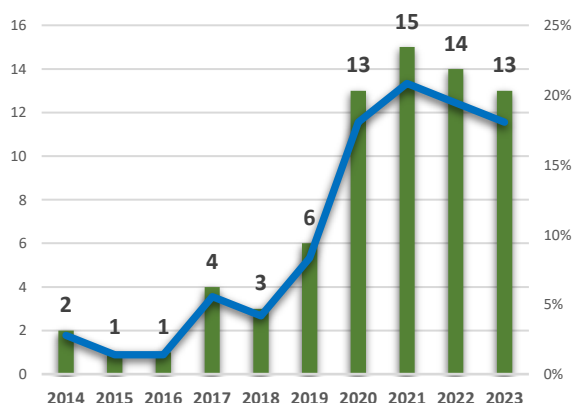


Figura 03 - Análise quantitativa anual.

Observa-se o crescimento da produção de artigos científicos sobre o assunto estudado no

período da pandemia da Covid-19, o qual credita-se à necessidade global de atendimento à higienização populacional irrestrita. Com isso, tem-se números aproximadamente 300% maiores nos anos de 2020 a 2023, quando comparados aos anos de 2014 a 2019.

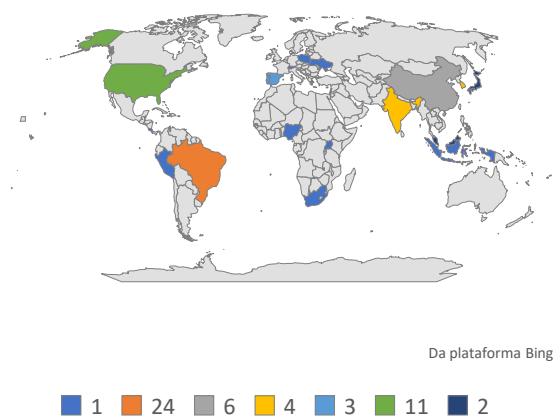


Figura 04 – Análise quantitativa por países.

Depreende-se que o Brasil é o país com o maior número de trabalhos produzidos sobre inspeção em reservatórios elevados de água, com 24 estudos, devido à ampla utilização desta estrutura para o abastecimento de água em regiões com maior elevação geográfica, seguido dos Estados Unidos da América, com 11 artigos, e China, com 6 trabalhos publicados.

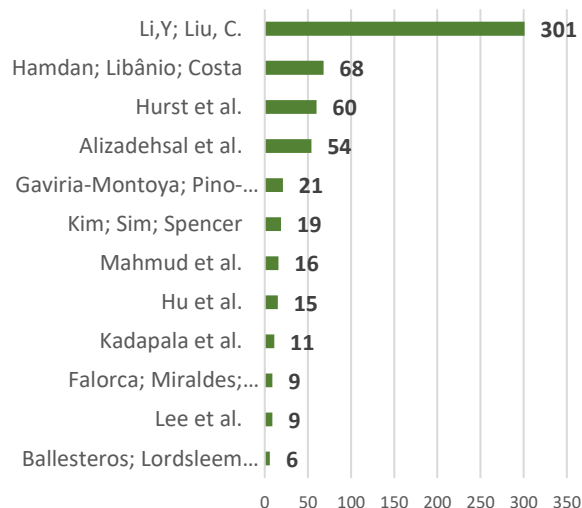


Figura 05 – Análise quantitativa de citações por autor.

Entre os autores com maior quantitativo de estudos sobre inspeção em reservatórios elevados de água, destacam-se Li e Liu (2019), com 301 citações, seguidos por Hamdan; Libânio e Costa (2023) com 68 citações. O terceiro trabalho mais citado foi o dos autores Hurst *et al.* (2021) com 60 citações. O quarto artigo mais citado foi o estudo dos autores Alizadehsal *et al.* (2020) com 54 citações.

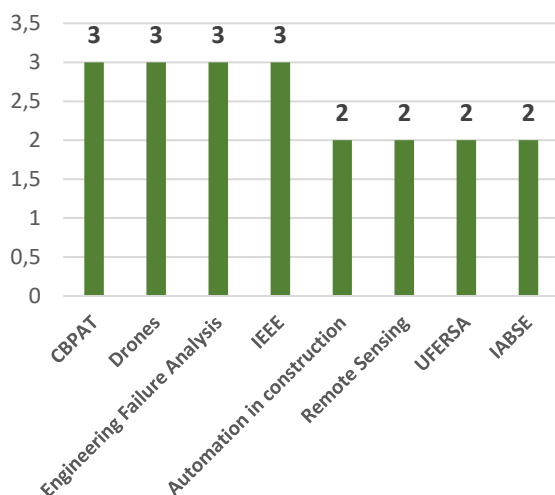


Figura 06 – Análise quantitativa dos periódicos com maior contribuição para o estudo.

Dentre os periódicos com maior número de publicações sobre inspeção em reservatórios elevados de água, a maioria apresentou apenas 1 artigo publicado, assim destacando-se os periódicos da IEEE, Engineering Failure Analysis, Drones e CBPAT, com 3 publicações cada, sobre o assunto aqui estudado.

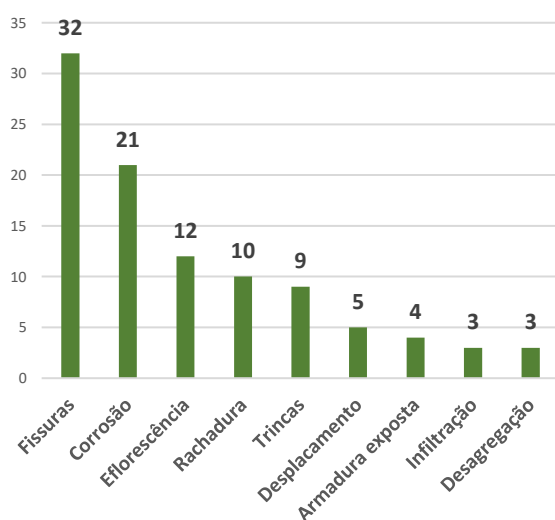


Figura 07 – Análise quantitativa das manifestações patológicas.

As fissuras representam a manifestação patológica com maior quantitativo observado nos estudos, onde 32 trabalhos citaram essa manifestação nos reservatórios elevados de água, seguida da corrosão, com 21 estudos e eflorescência, com 12 pesquisas observando essa manifestação, tornando-se as mais comuns enxergadas nas estruturas dos reservatórios.

Análise qualitativa

Através do Quadro 04, evidencia-se a utilização de diversos tipos de VANTs em diversas e distintas atividades da indústria da construção civil, dentre elas, principalmente, a inspeção em reservatórios elevados de água.

Ding *et al.* (2023) empregaram o VANT DJI Matrice 300 RTK com um Laser Rangefinder para detectar fissuras em estruturas de concreto, assim como, Woo *et al.* (2023) utilizaram o VANT DJI Phantom 4 RTK integrado ao software YOLO V5 e Ko *et al.*, (2023) desenvolveram um software open-source para inspecionar estruturas em concreto armado e fachadas utilizando um VANT DJI Matrice 300 RTK e smartphone com o software ABECIS, demonstrando a versatilidade do uso do VANT na detecção de manifestações patológicas.

Outros estudos focaram em tecnologias para identificar deteriorações em infraestruturas. Wang *et al.* (2023) usaram redes neurais convolucionais (CNN) para identificar fissuras em edifícios antigos, enquanto Arruda *et al.* (2023) aplicaram fotogrametria, tomografia e ultrassom para avaliar um reservatório de água. Khosravi e Goudarzi (2023) investigaram o risco de fissuras em reservatórios de concreto utilizando simulações sísmicas estocásticas, e Zhao *et al.* (2023) aplicaram técnicas de segmentação para monitorar barragens, destacando a diversidade da utilização do VANT.

Comparando os estudos de Arruda *et al.* (2023); Ding *et al.* (2023); Khosravi e Goudarzi (2023); Ko *et al.* (2023); Wang *et al.* (2023); Woo *et al.* (2023) e Zhao *et al.* (2023), denota-se que suas aplicações integradas conferem bastante amplitude de emprego na construção civil, dadas as abordagens distintas realizadas. No entanto, os custos elevados destes equipamentos dificultam a sua aquisição, além de necessitarem de pessoal devidamente treinado e capacitado para operá-los.

A inspeção visual de reservatórios foi amplamente abordada por Santana *et al.* (2023), Batista (2022) e Tomé (2022), que conduziram inspeções visuais e fotográficas para detectar fissuras, infiltrações e corrosão em reservatórios

elevados. Barros et al. (2022) e Pereira et al. (2022) estudaram patologias em reservatórios, identificando oxidação e falhas nas juntas de placas de aço, realçando a importância da inspeção visual para a manutenção preventiva.

Confrontando os métodos utilizados por Barros et al. (2022); Batista (2022); Pereira et al. (2022), Santana et al. (2023) e Tomé (2022), essa metodologia não possibilita acesso às áreas com altura elevada e a tampa do reservatório, limitando-se à capacidade de zoom da câmera utilizada e do limite de visualização humana, conferindo imprecisão e restrição ao trabalho (Oliveira et al., 2021).

Diversos estudos focaram na aplicação de tecnologias em segurança. Mendes et al. (2022) desenvolveram um treinamento virtual para trabalhadores em altura usando drones, enquanto Mazibuko e Smallwood (2022) investigaram o potencial da Indústria 4.0 para melhorar a segurança em canteiros de obras com o uso de VANTs. Xu e Turkan (2022) propuseram um modelo de avaliação de segurança para VANT em ambientes de trabalho. Johansen et al. (2021) empregaram VANTs integrados com o BIM (Building Information Modeling) para inspecionar barreiras de segurança em canteiros de obras, detectando defeitos e falhas na instalação dos equipamentos de segurança.

Isso corrobora com a versatilidade e amplo emprego do VANT demonstrado neste estudo, tendo em vista que essa versatilidade promovida pela inovação e integração tecnológica permite alcançar horizontes antes dificilmente alcançados, como: a inspeção em lugares confinados ou com risco de queda em altura (Oliveira, 2023).

Outros pesquisadores utilizaram VANT para detecção de fissuras e corrosão em diversas estruturas. Al-Gburi et al. (2022) aplicaram o método dos elementos finitos (FEM) para analisar fissuras térmicas em reservatórios, enquanto Grippa et al. (2022) usaram VANT para inspecionar reservatórios internamente. Ali Alheeti et al. (2022) focaram na detecção em tempo real de fissuras em edifícios de concreto.

A associação do VANT com outras tecnologias possibilita análise abrangente e detalhada, permitindo ainda que sejam realizados protótipos para análise estrutural e das condições atuais de conservação, promovendo a melhoria da manutenção e da vida útil dos REL (Ruiz, 2020).

Hurst et al. (2021) documentaram a construção de tanques de água no oeste americano, utilizando fotogrametria aérea com o VANT DJI Inspire 1 e câmera Zenmuse X5, destacando a

importância de drones na documentação histórica e no monitoramento de infraestruturas rurais. Essa técnica foi empregada pela maioria dos estudos aqui analisados, devido à sua facilidade de realização e acessibilidade, necessitando de pouco conhecimento técnico para realiza-la e operar o VANT.

Mahmud et al. (2021) desenvolveram rotas para robôs subaquáticos (ROVs) usados na manutenção de reservatórios de água, demonstrando a integração de robótica subaquática com tecnologias de monitoramento para melhorar a eficiência da manutenção de infraestruturas hidráulicas. Embora o foco deste estudo sejam os trabalhos que inspecionaram externamente os REL, observa-se que é possível a realização de inspeção interna nos reservatórios, incrementando a qualidade do resultado obtido.

Bouzan et al. (2021) e Liu et al. (2021) desenvolveram sistemas automatizados com uso de machine learning e deep learning para inspeção de manifestações patológicas. Em aplicações específicas, Song et al. (2021) projetaram um sistema de inspeção utilizando um robô escalador de paredes e VANT e Mohammad et al. (2021) aplicaram CNN para reconhecimento automático de fissuras em estruturas de concreto.

Analizando os estudos de Bouzan et al. (2021); Liu et al. (2021); Mohammad et al. (2021) e Song et al. (2021), em comparação com o método tradicional de inspeção de REL, o qual utiliza-se de profissional alpinista industrial (Magalhães, 2018; Almeida Filho, 2024), os métodos utilizados demonstram-se promissores por eliminar os riscos associados à altura, empregados conjuntamente com softwares/programas de inteligência artificial. No entanto, a automatização para a detecção das manifestações patológicas é uma questão desafiadora, pois necessita de grande banco de dados para treinar a máquina e aprimorar a sua capacidade de reconhecimento dos diversos tipos de manifestações patológicas que acometem os reservatórios elevados, embora já existam algumas plataformas online que se propõem a incrementar o conhecimento dos diversos problemas que acometem os reservatórios, estruturas e edificações, como a PATORREB, porém ainda limitadas.

Pimentel et al. (2021); Silva et al. (2020) e Teixeira et al. (2021) investigaram manifestações patológicas em reservatórios de concreto armado, com foco na detecção de fissuras, corrosão e eflorescências, utilizando inspeção visual. Araújo et al. (2020) aplicaram o VANT DJI Phantom 4 RTK para detecção de rachaduras, enquanto

Kadapala et al. (2020) utilizaram VANT para estimar a capacidade de armazenamento de reservatórios de irrigação.

Zheng et al. (2020) propuseram um sistema de planejamento de voo baseado em prototipagem virtual para inspeção externa em estruturas, utilizando o software Microsoft AirSim UAV com VANTs. Alizadehsalehi et al. (2020) integraram modelos BIM e VANT para gerenciar a segurança em canteiros de obras, destacando a redução de acidentes e riscos com essa combinação tecnológica. Kim e Irizarry (2020) investigaram as percepções de profissionais sobre a implementação do VANT em tarefas de infraestrutura e construção, utilizando VANT e BIM para otimizar o gerenciamento.

A gestão das atividades da construção civil historicamente apresenta-se como uma barreira a ser vencida pelos profissionais e empresas da área. Assim, vêm empregando o conjunto de ferramentas tecnológicas, como o VANT e elementos da indústria 4.0, para suas atividades, conferindo agilidade e precisão aos seus processos (Gonçalves e Cavichioli, 2021; Choi et al., 2023).

Mak e Lees (2020) focaram na deterioração da aderência em concreto armado devido à corrosão, utilizando técnicas de detecção de fissuras. Cao et al. (2020) propuseram um algoritmo online de correção de trajetórias para inspecionar estruturas com VANT equipado com LiDAR, otimizando a precisão e eficiência dos voos. Sangiorgio et al. (2020) estudaram falhas em reservatórios elevados de concreto armado, analisando fissuras e lascamento da estrutura.

Embora muitos estudos aqui levantados tenham o objetivo de analisar especificamente fissuras, trincas e rachaduras em reservatórios elevados de água, vale ressaltar que, de acordo com o que foi identificado neste trabalho, a corrosão, eflorescências, exposição das armaduras, infiltrações e vazamentos nos REL também merecem atenção, dadas as frequentes recorrências observadas.

No campo do monitoramento da qualidade da água, Castro et al. (2020) utilizaram VANT e imagens de satélite para detectar eutrofização em pequenos reservatórios. Souza et al. (2020) analisaram manifestações patológicas na estação de tratamento de água de Juru-PB, focando na detecção de infiltrações e corrosão através de inspeção visual. Okon et al. (2020) investigaram a corrosão em infraestrutura hídrica nas regiões costeiras da Nigéria, destacando os desafios de manutenção em ambientes agressivos.

Esses estudos demonstram a crescente aplicação do VANT e tecnologias associadas na inspeção e monitoramento de diversas estruturas e infraestruturas, tanto na construção civil quanto em reservatórios elevados de água, contribuindo para a detecção precoce de problemas e melhorias na manutenção, segurança operacional, gerenciamento e identificação antecipada e precisa de manifestações patológicas (Mithra e Malleswari, 2021).

Conclusão

A revisão sistemática da literatura demonstrou que os VANT's, equipamentos e tecnologias utilizados para inspecionar RELs, evidenciando os seus benefícios e eficácia, e identificar as principais manifestações patológicas que acometem os reservatórios elevados de água.

Os achados expuseram o grande potencial do VANT para atividades de inspeção, em especial em reservatórios elevados de água, exemplificada na bibliografia atual por vários autores, apresentando evidências suficientes para enfatizar os vários benefícios do uso desta aeronave como uma ferramenta ágil e adaptável para o levantamento de dados ou imagens para diferentes fins, especialmente em locais de difícil acesso e com complexidade inerente à altura. Possibilitando a realização da atividade de inspeção de forma segura e ágil, exigindo menos recursos em comparação com o método de inspeção convencional que emprega o alpinismo industrial, além de promover detalhamento criterioso na análise técnica das manifestações patológicas.

Desta forma, a pesquisa constatou que os estudos relacionados à inspeção de reservatórios elevados objetivam, majoritariamente, a aplicação do VANT da empresa DJI como ferramenta de auxílio à atividade de inspeção de reservatórios elevados, visando promover melhorias no processo, possibilitando, ainda, identificar as principais manifestações patológicas presentes nos reservatórios elevados de água, onde, nesse caso, apresentaram-se as fissuras, corrosão, eflorescência, trincas e rachaduras como principais manifestações patológicas que acometem os reservatórios estudados.

Dentre os principais equipamentos, e tecnologias embarcadas e empregadas para inspecionar REL com VANT, estão: Laser Rangefinder, software YOLO V5, CNN), inspeções visuais e fotográficas, Indústria 4.0, BIM (Building Information Modeling), método dos elementos finitos (FEM), câmera Zenmuse X5,

robôs subaquáticos (ROVs), machine learning e deep learning, software Microsoft AirSim UAV, laser LiDAR, imagens de satélite, fotogrametria, tomografia e ultrassom.

Este estudo identificou que os países com maior contribuição para o assunto aqui estudado são o Brasil, Estados Unidos da América e China. Assim como, os autores com maior relevância para o tema proposto pertencem a países como Estados Unidos, Brasil e Polônia, além do destaque dos periódicos CBPAT e Drones.

Além disso, percebe-se que durante o período da pandemia da Covid-19 houve o incremento no quantitativo de estudos relacionados à inspeção e manutenção dos REL, colaborando para a melhoria dos processos que envolvem a atividade.

Assim, a prática de metodologias de inspeção de reservatórios elevados utilizando VANT, atualmente, apresenta importante crescimento na construção civil, no entanto observa-se dificuldade em encontrar pessoal capacitado para a operação dos equipamentos, carecendo, ainda, de melhorias no custo de aquisição de dispositivos com tecnologia mais avançada. Outro ponto de melhoria que pode ser implementado, identificado através dos artigos aqui estudados, é a automatização da inspeção de manifestações patológicas, porém enfrenta a barreira da necessidade de ampla informação para alimentar e conduzir a máquina ao aprendizado, possibilitando análises mais precisas e ágeis. Apesar disso, a utilização de aeronaves remotamente controladas permite melhor gerenciamento, não apenas nos trabalhos de inspeção, mas, em todas as fases da construção.

Desta forma, constata-se que o assunto abordado denota bastante relevância no âmbito das investigações de manifestações patológicas em reservatórios elevados de água, tendo em vista que pouco se tem abordado sobre a temática. Além disso, conclui-se que o método de inspeção de reservatórios elevados de água com auxílio do VANT como inovação tecnológica, quando aplicado corretamente, contribui para a redução dos custos, do tempo, das dificuldades operacionais e de acidentes.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia de Pernambuco (FACEPE) pelo apoio financeiro e à Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA) pelas informações, autorizações e suporte.

Referências

- Agência Nacional de Aviação Civil. (2017). Orientações para usuários de drones. 1ª Edição. ANAC. https://www.gov.br/anac/pt-br/assuntos/drones/orientacoes_para_usuarios.pdf.
- Agência Nacional de Aviação Civil. (2023). Regulamento Brasileiro da Aviação Civil - RBAC-E Nº 94: Requisitos gerais para aeronaves não tripuladas de uso civil. Emenda 03. ANAC. <https://www.anac.gov.br/assuntos/legislacao/legislacao-1/rbha-e-rbac/rbac>.
- Akobeng, A. K. (2005). Principles of evidence-based medicine. *Archives of disease in childhood*, 90(8), 837-840. <https://doi.org/10.1136/ad.2005.071761>.
- Al-Gburi, M.; Jonasson, J-E.; Nilsson, M. (2022). Reducing thermal crack risks caused by restraint in young concrete - a case study on walls of water tanks. *Nordic Concrete Research*, 66(1), 41-54. <http://dx.doi.org/10.2478/ncr-2022-0001>.
- Ali Alheeti, K.M et al. (2022). Intelligent mobile detection of cracks in concrete utilising an unmanned aerial vehicle. *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*, 11, 176-184. <https://doi.org/10.11591/eei.v11i1.2987>.
- Alizadehsalehi, S. et al. (2020). The effectiveness of an integrated BIM/UAV model in managing safety on construction sites. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 26, 829-844. <http://dx.doi.org/10.1080/10803548.2018.1504487>.
- Almeida Filho, R. R. (2024). *Avaliação da eficácia de dispositivo beacon na supervisão de atividades em altura: Um estudo de viabilidade*. [Dissertação de Mestrado, Universidade de Pernambuco]. Átrio - Repositório Digital do PEC-POLI/UPE. https://w2files.solucaoatrio.net.br/atrio/upe-ecivil_upl//THESIS/237/dissertao_final_roberto_revoredo_20240326144247240.pdf.
- Almeida, P. J. M. (2014). *Análise e avaliação do estado de conservação dos reservatórios elevados dos Serviços Municipalizados de Água e Saneamento de Almada*. [Dissertação de Mestrado, Universidade Nova de Lisboa]. RUN – Repositório da Universidade Nova. https://run.unl.pt/bitstream/10362/14190/1/Almeida_2014.pdf.
- Araújo, W.; Souza, J.; Gomes, G. N. S. (2020). Avaliação de manifestações patológicas com

- uso de drone. CBPAT.3544-3550. <http://dx.doi.org/10.4322/CBPAT.2020.001>
- Arnuti, J. M. (2015). *Avaliação das condições de durabilidade dos reservatórios em concreto armado do sistema de abastecimento de água da cidade de Palmas - TO*. [Trabalho de Conclusão de Curso de Bacharelado em Engenharia Civil, Centro Universitário Luterano de Palmas]. ULBRA – Repositório Institucional. <http://ulbra-to.br/bibliotecadigital/publico/home/documento/1859>.
- Arruda, M. R. T.; Correia, J. R.; Ferreira, J. G.; Branco, F. A.; Reis, N. A. (2023). Structural assessment of a water reservoir masonry vaulted roof from the nineteenth century. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 37(4). <http://dx.doi.org/10.1061/jpcfey.cfeng-4435>.
- Associação Brasileira De Normas Técnicas. (2017). *ABNT NBR 12218. Projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público — Procedimento*. Rio de Janeiro, 2017.
- Bach, F. D. C. V. (2019). *Determinación y evaluación de las patologías del concreto armado del tanque elevado de água potable n° 17 de 1000 m3, ubicado en el centro poblado Monte Sullón, distrito de Catacaos, provincia y región Piura*. [Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil, Universidad Católica Los Ángeles Chimbote]. Repositorio Institucional. <https://hdl.handle.net/20.500.13032/11170>
- Ballesteros, R. D.; Lordsleem Júnior, A. C. (2021). Veículos Aéreos Não Tripulados (VANT) para inspeção de manifestações patológicas em fachadas com revestimento cerâmico. *Ambiente Construído*, 21(1), 119-137. <http://dx.doi.org/10.1590/s1678-86212021000100497>.
- Barbosa, M. V.; Marco, G.; Florian, F. (2022). Patologias ocasionadas pela umidade nas edificações. *RECIMA21 - Revista Científica Multidisciplinar*, 3(1), e3112252. <http://dx.doi.org/10.47820/recima21.v3i1.2252>
- Barros, A. C. T.; Mendes, P. R. A., Zago, M. S.; Bechaine, V. O.; Souza, J. V. P. (2022). Avaliação de manifestações patológicas em reservatórios de água tratada em concreto armado no município de Guaratinguetá/SP. CBPAT. <https://doi.org/10.4322/CBPAT.2022.001>
- Batista, C. C. P. (2022). *Estudo das manifestações patológicas e técnicas de reparos nas estruturas dos reservatórios elevados da cidade de São José de Piranhas- PB*. [Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Engenharia Civil, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba-IFPB]. Repositório Digital. <https://repositorio.ifpb.edu.br/handle/177683/1890>
- Borges, M. G. (2008). Manifestações patológicas incidentes em reservatórios de água elevados executados em concreto armado. [Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Engenharia Civil, Universidade Estadual de Feira de Santana]. RIUT – Repositório Institucional da UTFPR. <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/19797>.
- Bouzan, G.B. et al. (2021). Building facade inspection: A system based on automated data acquisition, machine learning and deep learning image classification methods. *ARN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 16(14), 1516-1527. https://www.arnjournals.org/jeas/research_papers/rp_2021/jeas_0721_8644.pdf.
- Cao, M. et al. (2020). Online trajectory correction and tracking for facade inspection using autonomous UAV. *IEEE International Conference on Control and Automation, ICCA, 2020*, 1149-1154. <https://doi.org/10.1109/ICCA51439.2020.9264577>.
- Castro, C. C. et al. (2020). An UAV and satellite multispectral data approach to monitor water quality in small reservoirs. *Remote Sensing*, 12(9), 1514. <http://dx.doi.org/10.3390/rs12091514>.
- Choi, H. -W.; Kim, H. -J.; Kim, S-K.; Na, W. S. (2023). Uma visão geral das aplicações de drones na indústria da construção. *Drones*, 7(8), 515. <https://doi.org/10.3390/drones7080515>.
- Companhia Pernambucana de Saneamento. (2024). *Abastecimento de água*. COMPESA. <https://servicos.compesa.com.br/abastecimento-de- agua>.
- Connor, R., Miletto, M. (2022). *Relatório mundial das Nações Unidas sobre o desenvolvimento dos recursos hídricos 2022 – águas subterrâneas: tornar visível o invisível*. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000380726_por.
- Corrêa, P. R. D.; Girardi, R. (2018). Análise da evolução dos parâmetros de dimensionamento de reservatórios em concreto: Estudo de caso. *Revista de Engenharia Civil Imed*, 5(1), 52. <http://dx.doi.org/10.18256/2358-6508.2018.v5i1.2197>.

- Costa, F. O. (1998). *Projetos estruturais de reservatórios paralelepípedicos de concreto armado moldado in loco*. [Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos]. Biblioteca Digital de Teses e Dissertações da USP. <https://doi.org/10.11606/D.18.2017.tde-21122017-110045>
- Costa, N. G.; Maia, D. A. S.; Barbosa, A. H. (2017). Identificação de patologias em reservatórios de concreto armado em Juazeiro/BA. *CONPAR*, 1 (1), 0-14. <http://revistas.poli.br/index.php/CONPAR/article/view/620>.
- Danajitha, K. K. et al., 2022. Detection of cracks in high rise buildings using drones. *3rd International Conference on Electronics and Sustainable Communication Systems, ICESC 2022*, 318-324. <http://dx.doi.org/10.1109/ICESC54411.2022.9885251>.
- Davies, T.; Kumar, R.S.; Antony, A. M. (2023). A novel method for concrete crack detection using image processing technique. *Advanced Computing and Communication Technologies for High Performance Applications (ACCTHPA)*, 1-8. <https://doi.org/10.1109/ACCTHPA57160.2023.10083343>.
- Departamento de Controle do Espaço Aéreo. (2023a). *Manual do Comando da Aeronáutica – MCA 56-5: Aeronaves não tripuladas para uso exclusivo em operações aéreas especiais*. DECEA. <https://www.decea.mil.br/drone/docs/MCA%2056-5%20-%20Aeronaves%20N%C3%A3o%20Tripuladas%20para%20Uso%20Exclusivo%20em%20Operas%C3%A7%C3%B5es%20A%C3%A9reas%20Especiais%202023%20-%20BCA%20103%2006.06.23.pdf>.
- Departamento de Controle do Espaço Aéreo (2023b). *Instrução do Comando da Aeronáutica – ICA 100-40: Sistemas de aeronaves remotamente pilotadas e o acesso ao espaço aéreo brasileiro*. DECEA. <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>.
- Departamento de Controle do Espaço Aéreo. (2023c) *Qual a diferença entre drone, VANT e RPAS?* DECEA. <https://ajuda.decea.mil.br/base-de-conhecimento/qual-a-diferenca-entre-drone-vant-e-rpas/>.
- Departamento municipal de água e esgoto de Caldas Novas. (2022). *A importância da água*. DEMA. <https://www.dema.go.gov.br/projetos/importancia-da-agua-para-nossa-vida/#:~:text=A%20%C3%A1gua%20%C3%A9%20o%20mais,preparar%20mamedeiras%2C%20comidas%20e%20sucos>.
- Ding, W. et al. (2023). Crack detection and quantification for concrete structures using UAV and transformer. *Automation In Construction*, 152, 104929. <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2023.104929>.
- Duffy, J.; Anderson, K.; Shapiro, A.; Avino, F. S.; DeBell, L., Glover-Kapfer, P. (2020). Tecnologias de drones para conservação. Série de tecnologia para conservação do WWF 1(5). WWF. https://wwfbr.awsassets.panda.org/downloads/wwf_drone_report_210x297_11_pt_spread_v2_1.pdf.
- Falorca, J.F.; Miraldes, J.P.N.D.; Lanzinha, J.C.G. (2021). New trends in visual inspection of buildings and structures: Study for the use of drones. *Open Engineering*, 11, 734-743. <http://dx.doi.org/10.1515/eng-2021-0071>.
- Farias, Á. J. D. (2018). *Patologias em reservatórios de água com estruturas de concreto armado: manutenção, tratamento, recuperação e reforço*. [Trabalho de Conclusão de Curso de Bacharelado em Engenharia Civil, Centro Universitário Anhanguera de São Paulo]. Repositório COGNA. https://repositorio.pgsscogna.com.br/bitstream/123456789/26103/1/AGATHA%20JULIE_A_TIVIDADE1.pdf.
- Fundação Jorge Duprat Figueiredo de Segurança e Medicina do Trabalho. (2022). FUNDACENTRO. <https://www.gov.br/fundacentro/pt-br/comunicacao/noticias/noticias/2016/4/queda-em-altura-esta-entre-os-principais-acidentes-fatais-na-industria-da-construcao>.
- Gaboardi, W. (2019). *Patologias em reservatórios hidráulicos elevados de concreto armado*. [Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil, Universidade Anhanguera de Caxias do Sul]. Repositório COGNA. https://repositorio.pgsscogna.com.br/bitstream/123456789/33236/1/WILLIAN_GABOARDI_DEFESA.pdf.
- Gaviria-Montoya, L.; Pino-Gómez, M.; Soto-Córdoba, S. M. (2020). Risk associated with the water infrastructure in rural water suppliers in Turrialba Cartago, Costa Rica. *Sustainable Water Resources Management*, 6(4). <http://dx.doi.org/10.1007/s40899-020-00410-x>.
- Gomes, I. S.; Caminha, I. O., 2014. Guia para estudos de revisão sistemática: Uma opção

- metodológica para as ciências do movimento humano. *Movimento*, 20(01), 395-411. <https://doi.org/10.22456/1982-8918.41542>
- Gonçalves, V. P.; Cavichioli, F. A. (2021). Estudo das funcionalidades dos drones na agricultura. *Revista Interface Tecnológica*, 18(1), 321-331. <https://doi.org/10.31510/infav18i1.1126>.
- Grippa, P. et al. (2022). Inspection of ship hulls with multiple UAVs: Exploiting prior information for online path planning. *Ieee/Rsj International Conference On Intelligent Robots And Systems (Iros)*, 2022(0), 13777-13784. <http://dx.doi.org/10.1109/iros47612.2022.9981357>.
- Hamdan, O. C.; Libânio, M.; Costa, V. A. F. (2023). Proposal of a regulatory index of quality of water supply services—RIQS. *Environmental Science and Pollution Research*, 30(41), 93564-93581. <http://dx.doi.org/10.1007/s11356-023-28880-4>.
- Helene, P.R.L. (2003). Manual de reparo, proteção e reforço de estruturas de concreto (2 ed.). Pini.
- Hu, D.; Hong, H.; Rong, B.; Wei, Y.; Zeng, J.; Zhu, J.; Bai, L.; Guo, F.; Yu, X. (2021). A comprehensive investigation of the microbial risk of secondary water supply systems in residential neighborhoods in a large city. *Water Research*, 205, 117690. <http://dx.doi.org/10.1016/j.watres.2021.117690>.
- Hurst, S.; Johnson, E.; Cunningham, D.; Fernandez-Cespedes, G. (2021). Aerial Photogrammetry in the American West: Documenting the construction of cattle water tanks by texas cowboys. *Heritage*, 4(3), 1899-1911. <http://dx.doi.org/10.3390/heritage4030107>.
- Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias de Engenharia. (2021). *Norma de Inspeção Predial*. IBAPE. <https://ibape-nacional.com.br/biblioteca/wp-content/uploads/2019/02/BTec-2019-007.pdf>.
- Ivorra, S.; Torres, B.; Estevan, L.; Piqueras, J. M., 2022. Failure analysis of the collapse of a raised steel wine tank. *Engineering Failure Analysis*, 142, 106767. <http://dx.doi.org/10.1016/j.engfailanal.2022.106767>.
- Jesus, L. C.; Peres, W. L. R. (2023). Os impactos da utilização de drones na agricultura. *Revista Contemporânea*, 3(11), 22713-22736. <https://doi.org/10.56083/RCV3N11-137>.
- Johansen, K.W.; Figueiredo, R.; Golovin, O.; Teizer, J. (2021). Autonomous Safety Barrier Inspection in Construction: An Approach Using Unmanned Aerial Vehicles and SafeBIM. *Proceedings of the International Symposium on Automation and Robotics in Construction*, 2021, 629-636. <http://dx.doi.org/10.22260/ISARC2021/0085>.
- Kadapala, B. K. R.; Hakeem, K. A.; Raghavendra, K.; Patel, S.; Kumar, K. P. (2020). Capacity estimation of irrigation tanks through remote sensing from UAV platform. *Journal of The Indian Society of Remote Sensing*, 48(10), 1403-1411. <http://dx.doi.org/10.1007/s12524-020-01164-x>.
- Keele, Staffs. (2007). Guidelines for performing systematic literature reviews in software engineering. Technical report, ver. 2.3 ebse technicalreport. https://www.elsevier.com/__data/promis_misc/525444systematicreviewsguide.pdf.
- Khosravi, S.; Goudarzi, M. A. (2023). Seismic risk assessment of on-ground concrete cylindrical water tanks. *Innovative Infrastructure Solutions*, 8(1). <http://dx.doi.org/10.1007/s41062-022-01002-8>.
- Kiliç, R.; Kozan, R.; Karayel, D.; Özkan, S. S. (2017). Application of predictive maintenance system in drinking water pumping stations. *ACTA PHYSICA POLONICA A*, 132, 1016-1021. <http://dx.doi.org/10.12693/APhysPolA.132.1016>.
- Kim, H.; Sim, S.-H.; Spencer, B. F. (2022). Automated concrete crack evaluation using stereo vision with two different focal lengths. *Automation In Construction*, 135, 104136. <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104136>.
- Kim, S.; Irizarry, J. (2020). Knowledge-based considerations for developing UAS operational procedures on infrastructure and construction task environments. *Construction Research Congress 2020: Computer Applications*, 268-277. <http://dx.doi.org/10.1061/9780784482865.029>.
- Kirby, R.S. Withington, S.; Darling, A. B. Kilgour, F. G. (1956). *Engineering in history*. McGraw-Hill.
- Ko, P.; Prieto, S. A.; Soto, B. G. (2023). Developing a free and open-source semi-automated building exterior crack inspection software for construction and facility managers. *Ieee Access*, 11, 77099-77116. <http://dx.doi.org/10.1109/access.2023.3296793>.
- Lee, G. O. Vasco, L.; Márquez, S. (2021). A dengue outbreak in a rural community in Northern Coastal Ecuador: An analysis using unmanned aerial vehicle mapping. *Plos*

- Neglected Tropical Diseases*, 15(9), 0009679. <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pntd.0009679>
- Lee, J.H.; Bae, J.H.; Ju, Y.K., 2019. Preliminary safety evaluation method of buildings using Unmanned Aerial Vehicle (UAV). *20th Congress of IABSE*, 2472-2478. <http://dx.doi.org/10.2749/newyork.2019.2471>.
- Li, Y.; Liu, C. (2023). Applications of multirotor drone technologies in construction management. *International Journal of Construction Management*, 19(3), 1-12. <https://doi.org/10.1080/15623599.2023.2290017>.
- Liang, H.; Lee, S.-C.; Bae, W.; Kim, Jeongyun; Seo, Suyoung. (2023). Towards UAVs in construction: Advancements, challenges, and future directions for monitoring and inspection. *Drones*, 7(3), 202. <https://www.mdpi.com/2504-446X/7/3/202#>.
- Liu, Y.; Lin, Y.; Yeoh, J. K. W.; Chua, D. K. H.; Wong, L. W. C., Ang Jr., M. H.; Lee, W. L.; Chew, M. Y. L. (2021). Framework for automated UAV-based inspection of external building façades. *Advances in 21st Century Human Settlements*, 173-194. https://doi.org/10.1007/978-981-15-8670-5_7.
- Magalhães, E. A. O. (2018). *Desenvolvimento de uma metodologia de avaliação de reservatórios de abastecimento de água para apoio à sua manutenção/reabilitação*. [Dissertação de Mestrado, Instituto Politécnico de Leiria]. IC-OLINE. <http://hdl.handle.net/10400.8/3442>.
- Mahmud, M. S. A.; Abidin, M. S. Z.; Buyamin, S.; Emmanuel, A. A.; Hasan, H. S. (2020). Multi-objective route planning for underwater cleaning robot in water reservoir tank. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, 101(1). <http://dx.doi.org/10.1007/s10846-020-01291-0>.
- Maia, R. P. A. (2019). *Estudo de caso sobre as manifestações patológicas em um reservatório de água elevado no município de Rafael Fernandes – RN*. [Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação, Universidade Federal Rural do Semi-árido]. Portal UFERSA. <https://repositorio.ufersa.edu.br/handle/prefix/6016>.
- Mak, M.W.T.; Lees, J.M. (2020). Assessment of corrosion-induced bond deterioration in reinforced concrete: Towards a splitting crack-based approach. *IABSE Congress: Resilient Technologies for Sustainable Infrastructure*, 62-69. <http://dx.doi.org/10.2749/christchurch.2021.0062>.
- Makoko, Ew; Wozel, E; Birungi, L. (2021). Relationship between water quality and physical conditions of domestic storage tanks supplied by a water utility in a rapidly growing city. *Water Sa*, 47(1), 1. <http://dx.doi.org/10.17159/wsa/2021.v47.i1.9452>.
- Martins Neto, R. P.; Breunig, F. M. Drones nas ciências florestais. *Drones e Ciência: teoria e aplicações metodológicas*, 1, 68-90. <https://repositorio.ufsm.br/bitstream/handle/1/18774/DRONES%20e%20CIENCIA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Mazibuko, N.; Smallwood, J. (2022). Improving health and safety (H&S) on south african construction projects with industry 4.0. *International Conference on Construction in the 21st Century*.
- Mendes, E.; Albeaino, G.; Brophy, P.; Gheisari, M.; Jeelani, I. (2022). Working safely with drones: A virtual training strategy for workers on heights. *Construction Research Congress 2022: Health and Safety, Workforce, and Education*, 4, 622-630. <http://dx.doi.org/10.1061/9780784483985.063>
- Mithra, S.; Malleswari, T.Y.J.N. (2021) A literature survey of unmanned aerial vehicle usage for civil applications. *J. Aerosp. Technol. Manag.*, 13, e4021. <https://doi.org/10.1590/jatm.v13.1233>.
- Mohammad, F.; Alzoubi, A.; Du, H.; Jassim, S. (2021). A generic approach for automatic crack recognition in buildings glass façade and concrete structures. *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*, 11878. <http://dx.doi.org/10.1117/12.2601061>
- Mohammadi, J. (2021). Building facade inspection process: Administration and management matters. *Practice Periodical on Structural Design and Construction*, 26(3). [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)SC.1943-5576.0000585](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)SC.1943-5576.0000585).
- Mokhtar, M.; Nor, A. H. M.; Kaamin, M.; Hamid N. B.; Sanik, M. E.; Azlan, M. S. N.; Zukifli, M. I. H. M.; Muhammad I. M. A. (2019). Inspection analysis of historic buildings with aid of “unmanned aerial vehicle” (UAV). *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, 8, 317-320. <http://dx.doi.org/10.30880/ijscet.2020.11.03.002>.
- Nayak, C.B.; Thakare, S.B. (2017). Investigation of corrosion status in elevated water tank by using nondestructive techniques in Baramati region. NICMAR. https://www.researchgate.net/publication/327500519_Investigation_of_C

- orrosion_Status_in_Elevated_Water_Tank_by_using_Non-Destructive_Techniques_in_Baramati_Region.
- Noronha, J. G., 2018. Estudo multicaso de manifestações patológicas em reservatórios de concreto armado na cidade de Tabuleiro do Norte – CE. [Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação, Universidade Federal Rural do Semi-árido]. Portal UFRSA. <https://repositorio.ufersa.edu.br/handle/prefix/4787>.
- Okon, B. B.; Okon, V. E.; Udom, E. J. (2020). Water infrastructure maintainability—issues and challenges in the coastal regions of Akwa Ibom State. *NIJOTECH*, 39(3), 953 – 961. <http://dx.doi.org/10.4314/njt.v39i3.38>
- Oliveira, A. A.; Graças, G. M.; Lopes, L. K.; Rezende, P. H. F. (2021). Inspeção de manifestações patológicas em fachadas utilizando aeronaves remotamente pilotadas. *Mackenzie*. https://www.mackenzie.br/fileadmin/ARQUIVOS/Public/1-mackenzie/universidade/laboratorios/labgeo/2021/Artigo_-_Inspe%C3%A7%C3%A3o_de_Manifesta%C3%A7%C3%B5es_Patol%C3%B3gicas_em_Fachadas_Utilizando_Aeronaves_Remotamente_Pilotadas.pdf.
- Oliveira, D. F. (2013). *Levantamento de causas de patologias na construção civil*. [Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro]. Pantheon UFRJ. <https://pantheon.ufrj.br/handle/11422/9971>.
- Oliveira, S. S. (2023). *Acidentes fatais por queda de altura: Tratamento estatístico com a utilização do método Human Factors Analysis and Classification System - HFACS*. [Dissertação de Mestrado, Universidade de Pernambuco]. Átrio - Repositório Digital do PEC-POLI/UPE. https://w2files.solucaoatrio.net.br/atrio/upe-ecivil_upl//THESIS/219/verso_final_dissertao_sabrina_santiago_oliveira_a_20230602104100371.pdf.
- Organização da Aviação Civil Internacional. (2015). Manual on Remotely Piloted Aircraft Systems (RPAS). OACI.
- O'riordan-Adjah, C.A.; Mackenzie, A.W. (2019). Investigating unmanned aerial vehicles (UAVs) for vertical structural inspection and analysis. *International Conference on Sustainable Infrastructure 2019: Leading Resilient Communities through the 21st Century - Proceedings of the International Conference on Sustainable Infrastructure 2019*, 193-204. <http://dx.doi.org/10.1061/9780784482650.020>.
- Page M. J.; McKenzie J. E.; Bossuyt P. M.; Boutron I.; Hoffmann T. C.; Mulrow C. D. et al. (2021). The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *International Journal of Surgery*, 88, 105906. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>.
- Pereira, H. B.; Maia, R. R.; Shen, J.; Tong, Q.; Azevedo, C. R. F.; Tschiptschin, A. P. (2022). In-service failure of mechanically galvanised low alloy steel bolts of three 25,000 m3 bolted water tanks. *Engineering Failure Analysis*, 142, 106839. <http://dx.doi.org/10.1016/j.engfailanal.2022.106839>.
- Pereira, H. W. B. (2014). Identificação das condições gerais de conservação nos reservatórios integrantes do sistema de abastecimento de água de Natal. [Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte]. BDTD – Biblioteca Brasileira de Teses e dissertações. https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/14857/1/HazenWBP_DISSERT.pdf.
- Pimentel, T. E. et al. (2021). Análise de manifestações patológicas e proposta de recuperação estrutural de um reservatório suspenso. *Revista Thema*, 19(3), 760–773. <https://doi.org/10.15536/thema.V19.2021.760-773.2151>.
- PRISMA Group, 2020. Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. <http://prisma-statement.org>
- Quillfeldt, C. D. (2020). *Estudo sobre o Saneamento da Aldeia Mbyá-Guarani Tekoá V'ya (Aldeia Feliz), Major Gercino/SC: Diagnóstico sobre o Saneamento e Proposições de Soluções para o Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário da Aldeia*. [Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação], Universidade Federal de Santa Catarina]. Repositório Institucional da UFSC. <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/223564>.
- Ramos, J. M. G. (2010). *Análise e dimensionamento de reservatórios semi-enterrados circulares de betão armado pré-esforçado*. [Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade do Porto]. Repositório Aberto da Universidade do Porto. <https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/63346/1/000150056.pdf>.
- Renzo, A. S.; Roque, A. B. (2022). Patologias ocasionadas pela umidade nas edificações. UNIFACS. <https://repositorio.animaeducacao.com.br/handle/ANIMA/29060>.

- Rosa, J. M.; Barros, V. H. O.; Nascimento, E. C. (2021). Utilização de veículos aéreos não tripulados na construção civil: uma revisão sistemática. *Revista Semiárido De Visu*, 9(3), 267–277. <https://doi.org/10.31416/rsdv.v9i3.23>
- Ruiz, R. D. B. (2020). *Inspeção de manifestações patológicas de fachadas utilizando veículo aéreo não tripulado (VANT): estudo exploratório*. [Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco]. Átrio – Repositório Institucional.
- Sacramento, T. M. S. (2021). *Análise comparativa da utilização dos métodos tradicionais e do veículo aéreo não tripulado (VANT) nas inspeções de segurança em canteiros de obras residenciais*. [Trabalho de Conclusão Curso de Bacharelado em Engenharia Civil, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia]. Repositório Institucional do Recôncavo da Bahia. <http://ri.ufrb.edu.br/jspui/handle/123456789/3236>.
- Sangiorgio, V.; Uva, G.; Adam, J. M.; Scarcelli, L. (2020). Failure analysis of reinforced concrete elevated storage tanks. *Engineering Failure Analysis*, 15(0). <http://dx.doi.org/10.1016/j.engfailanal.2020.104637>.
- Santana, G. A. (2017). *Levantamento de manifestações patológicas em reservatórios de concreto armado no município de Alegrete/RS*. [Trabalho de conclusão de curso de Graduação, UNIPAMPA]. RIU – Repositório Institucional da UNIPAMPA. <https://repositorio.unipampa.edu.br/jspui/handle/riu/1971>.
- Santana, L. S. X.; Araújo, R. G. C.; Santos, T. P. (2023). Fissuras em Reservatório Elevado de Concreto Armado – Estudo de Caso. *UNIFG*.
- Silva, L. A.; Pires, R. C. S.; Farias, B. M.; Bispo, E. R. (2020). Estudo sobre patologia estrutural em um reservatório de água de concreto armado. *Revista Augustus*, 25(50), 66-8. <http://dx.doi.org/10.15202/1981896.2020v25n50p66>.
- Silva, L. A.; Pires, R. C. S.; Farias, B. M.; Bispo, E. R. (2020). Estudo sobre patologia estrutural em um reservatório de água de concreto armado. *Revista Augustus*, 25(50), 66-80. <http://dx.doi.org/10.15202/1981896.2020v25n50p66>.
- Song, Y.-W.; Kim, T.; Lee, M.; Rho, S.; Kim, J.; Kang, J. (2021). Development of safety-inspection-purpose wall-climbing robot utilizing aerial drone with lifting function. *18th International Conference on Ubiquitous Robots, UR 2021*, 411-416. <https://doi.org/10.1109/UR52253.2021.9494637>.
- Souza, A. K. L. (2014). *Identificação das manifestações patológicas em reservatório de água executado em concreto armado em condomínio unifamiliar – estudo de caso*. [Trabalho de Conclusão de Curso de Especialização, Universidade Tecnológica Federal do Paraná]. RIUT – Repositório Institucional da UTFPR. <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/19797>.
- Souza, V. B.; Leite, L. K. F.; Ramos, M. A.; Sousa, N. M. (2020). Análise das manifestações patológicas na estação de tratamento de água de Juru-PB. *Congresso Brasileiro de Patologia das Construções*. <http://dx.doi.org/10.4322/cbpat.2020.115>.
- Souza, V. C. M.; RIPPER, T. (1998). *Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto*. Pini.
- Tomaz, J.L.F.; Nascimento, R.S.; Teles, T.B.; Oliveira, R.; Lima, C.V.A. (2023). Análise de riscos operacionais no sistema de abastecimento de água da cidade de Campina Grande-PB. XXV Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. <https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=14861>.
- Teixeira, G.; Silva, J.; Alves, E. (2021). Principais manifestações patológicas de um edifício em Anápolis-GO. *CINPAR*. 88-95. <http://dx.doi.org/10.4322/CINPAR.2021.011>.
- Teles, P. C. S. (1984). História da engenharia no Brasil. Livros Técnicos e Científicos, 1984.
- Tinoco, H. F. F.; MORAIS, A. S. (2013). Reservatórios em concreto armado: principais manifestações patológicas, diagnóstico e soluções para reabilitação e reforço. *IX Congresso Internacional sobre Patologia e Recuperação de Estruturas – CINPAR*.
- Tomé, G. (2022). *Manifestações patológicas em um reservatório elevado de água: um estudo de caso na Vila Antonico - Quixêlo/CE*. [Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal Rural do Semiárido]. Portal UFRSA. <https://repositorio.ufersa.edu.br/handle/prefix/7643>.
- Toretti, G.; SPECK, J. A. (2017). *Proposta de metodologia para tratamento de patologias recorrentes em reservatórios de água potável, em concreto armado*. [Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil, UNESC]. Repositório UNESC. <http://repositorio.unesc.net/handle/1/5892>.
- Torres, A. S.; Silva, V. M. B; Paliga, C. M. (2016). Análise das manifestações patológicas em reservatórios elevados na cidade de Pelotas/RS. *Reec - Revista Eletrônica de Engenharia Civil*,

12(1),12-22. <http://dx.doi.org/10.5216/reec.v12i1.37740>.

Wang, J.; Ueda, T. (2023). Evaluation of the application of unmanned aerial vehicle technology on damage inspection of reinforced concrete buildings. *Lecture Notes in Civil Engineering*,302,651-666. https://doi.org/10.1007/978-981-19-7331-4_52.

Wang, J.; Zhao, S.; Shen, L.; Yang, W.; Ma, J. (2023). Crack detection of old residential buildings based on UAV intelligent vision. *Mechanisms and Machine Science*, 129, 1126-1135.https://doi.org/10.1007/978-3-031-26193-0_98.

Woo, H.-J. et al., 2023. Defining structural cracks in exterior walls of concrete buildings using an unmanned aerial vehicle. *Drones*, v. 7, n. 3, p. 149. <http://dx.doi.org/10.3390/drones7030149>.

Xiong, D.; Wei, W.; Zhang, W.; Huang, K.; Li, B.; Zhang, L. (2022). UAV inspection monitoring and management system based on wireless sensing technology. *2022 IEEE 2nd International Conference on Electronic Technology, Communication and Information, ICETCI2022*,958-961. <https://doi.org/10.1109/ICETCI55101.2022.9832098>.

Xu, Y.; Turkan, Y. (2022). The development of a safety assessment model for using Unmanned aerial systems (UAS) in construction. *Safety Science*,155. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2022.105893>.

Zhao, H.; Yin, X.; Li, A.; Zhang, H.; Pan, D.; Pan, J.; Zhu, J.; Wang, M.; Sun, S.; Wang, Q. (2023). Intelligent Segmentation and Change Detection of Dams Based on UAV Remote Sensing Images. *Remote Sensing*, 15(23), 5526-5548. <http://dx.doi.org/10.3390/rs15235526>.

Zheng, Z.J.; Pan, M.; Pan, W. (2020). Virtual prototyping-based path planning of unmanned aerial vehicles for building exterior inspection. *Proceedings of the 37th International Symposium on Automation and Robotics in Construction, ISARC 2020*, 16-23. <http://dx.doi.org/10.22260/ISARC2020/0004>