

UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS DE AERONAVES NÃO TRIPULADAS NA GESTÃO DE SEGURANÇA DE BARRAGENS – UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA

USE OF UNMANNED AIRCRAFT SYSTEMS IN DAM SAFETY MANAGEMENT
– A SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW

USO DE SISTEMAS DE AERONAVES NO TRIPULADAS EN LA GESTIÓN DE SEGURIDAD DE PRESAS: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA DE LA LITERATURA

Dalton Messias Batista da Silva ¹

Simone Rosa da Silva ²

Emilia Rahnemay Kohlman Rabbani ³

Resumo: Nos últimos anos, a gestão de segurança de barragens tem sido aprimorada com o avanço tecnológico, os Sistemas de Aeronaves Não Tripuladas, tradução de *Unmanned Aircraft Systems* – UAS, vêm se destacando como uma solução eficaz e econômica para monitoramento e inspeções. A utilização das UAS permite a obtenção de dados de alta resolução e o alcance a áreas inacessíveis por métodos tradicionais, proporcionando maior eficiência e precisão nas avaliações estruturais e na análise das condições das barragens. Este trabalho tem como objetivo realizar uma Revisão Sistemática de Literatura sobre a aplicação de UAS na gestão de segurança de barragens, identificando os principais métodos de uso dessas aeronaves para inspeção, mapeamento, análise e gestão de risco. A pesquisa examina quais tecnologias estão associadas ao uso dos UAS, visando uma gestão preventiva e sustentável dos recursos hídricos e uma resposta rápida frente a possíveis falhas estruturais. O método PRISMA foi utilizado para selecionar e analisar 54 estudos acadêmicos a partir de três bases de dados: *Web of Science*, *Scopus* e *Science Direct*. Como resultado, observou-se que a adoção da tecnologia representa um avanço significativo da gestão do risco em barragens, além de facilitar o acesso a áreas remotas, possibilitando uma identificação precoce de falhas e auxiliando na tomada de decisões estratégicas. Essas vantagens reforçam o papel dos UAS como ferramentas estratégicas na gestão de riscos e na tomada de decisões voltadas à segurança de barragens.

Palavras-chave: Sistemas de aeronaves não tripuladas - UAS; Segurança de barragens; Gestão de riscos.

Abstract: In recent years, dam safety management has been improved by technological advances. Unmanned Aircraft Systems (UAS) have emerged as an effective and cost-

¹Mestrando do Programa de Engenharia Civil da Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco da Escola Politécnica de Pernambuco (Poli/UPE). Email: dmb1@poli.br . Orcid iD: <https://orcid.org/0009-0008-7501-5916> .

² Doutora em Engenharia Civil. Docente Permanente da Pós – graduação em Engenharia Civil (PEC) da Escola Politécnica de Pernambuco (Poli/UPE). Email: simonerosa@poli.br . Orcid iD: <https://orcid.org/0000-0001-7138-7546> .

³Doutora em Engenharia Civil. Docente Permanente da Pós – graduação em Engenharia Civil (PEC) da Escola Politécnica de Pernambuco (Poli/UPE).Email: emilialstht@poli.br . Orcid iD: <https://orcid.org/0000-0002-4016-5198>.

effective solution for monitoring and inspections. The use of UAS allows obtaining high-resolution data and reaching areas inaccessible by traditional methods, providing greater efficiency and accuracy in structural assessments and analysis of dam conditions. This study aims to conduct a Systematic Literature Review on the application of UAS in dam safety management, identifying the main methods of using these aircraft for inspection, mapping, analysis and risk management. The research examines the technologies associated with the use of UAS, aiming at preventive and sustainable management of water resources and a rapid response to possible structural failures. The PRISMA method was used to select and analyze 54 academic studies from three databases: Web of Science, Scopus and Science Direct. As a result, it was observed that the adoption of the technology represents a significant advance in risk management in dams, in addition to facilitating access to remote areas, enabling early identification of failures and assisting in strategic decision-making. These advantages reinforce the role of UAS as strategic tools in risk management and decision-making focused on dam safety.

Keywords: Unmanned aircraft systems - UAS; Dam safety; Risk management.

Resumen: En los últimos años, la gestión de la seguridad de las presas se ha mejorado con los avances tecnológicos, los Sistemas de Aeronaves No Tripuladas, traducidos de *Unmanned Aircraft Systems* – UAS, se han destacado como una solución efectiva y económica para el monitoreo e inspecciones. El uso de UAS permite obtener datos de alta resolución y llegar a zonas inaccesibles por métodos tradicionales, proporcionando mayor eficiencia y precisión en las evaluaciones estructurales y análisis del estado de las presas. Este trabajo tiene como objetivo realizar una Revisión Sistemática de la Literatura sobre la aplicación de UAS en la gestión de seguridad de presas, identificando los principales métodos de uso de estas aeronaves para inspección, mapeo, análisis y gestión de riesgos. La investigación examina qué tecnologías están asociadas al uso de UAS, apuntando a una gestión preventiva y sostenible de los recursos hídricos y una respuesta rápida a posibles fallas estructurales. Se utilizó el método PRISMA para seleccionar y analizar 54 estudios académicos de tres bases de datos: *Web of Science*, *Scopus* y *Science Direct*. Como resultado, se observó que la adopción de tecnología representa un avance significativo en la gestión de riesgos en represas, además de facilitar el acceso a áreas remotas, permitir la identificación temprana de fallas y ayudar en la toma de decisiones estratégicas. Estas ventajas refuerzan el papel de los UAS como herramientas estratégicas en la gestión de riesgos y la toma de decisiones encaminadas a la seguridad de las presas.

Palabras clave: Sistemas de aeronaves no tripuladas - UAS; Seguridad de las represas; Gestión de riesgos.

Introdução

Barragens são estruturas essenciais que oferecem diversos benefícios, como controle de enchentes, irrigação, geração de energia hidrelétrica, abastecimento de água, além de fomentar o turismo e a recreação. Embora projetadas para operar de forma contínua e por um longo período, elas, como outras infraestruturas, estão sujeitas ao desgaste dos materiais ao longo do tempo e a sobrecargas repentinas. Em alguns casos, esses fatores podem levar a falhas graves. As causas incluem deterioração dos materiais,

falhas na construção, impacto de abalos sísmicos, manutenção inadequada, condições climáticas extremas e aumento da pressão hidrostática. (Prakash *et al.*, 2021).

A gestão de risco em barragens é fundamental para a segurança e a preservação das funções essenciais que essas estruturas desempenham. A abordagem tradicional de inspeção exige uma análise visual minuciosa, não apenas da estrutura principal da barragem, mas também dos subsistemas e da área da bacia hidrográfica adjacente (Khaloo *et al.*, 2018).

Dentro desse contexto, o monitoramento e a inspeção são atividades fundamentais, mas enfrentam desafios significativos que limitam sua eficácia. Um dos principais entraves é o alto custo das operações, uma vez que as inspeções estruturais exigem equipamentos sofisticados, deslocamento de equipes especializadas e, em alguns casos, a interrupção temporária das atividades da barragem para assegurar a segurança dos técnicos envolvidos. Esses fatores dificultam a realização de monitoramentos frequentes, comprometendo a detecção precoce de possíveis problemas.

Outro obstáculo importante está relacionado ao acesso a áreas específicas da barragem. Estruturas de grande porte ou situadas em regiões remotas muitas vezes dificultam a inspeção completa, e os inspetores, em algumas situações, enfrentam riscos adicionais ao avaliar setores críticos, especialmente aqueles expostos a condições ambientais adversas. Essas limitações nos métodos convencionais ressaltam a necessidade de alternativas mais ágeis, acessíveis e precisas. Esse cenário tem impulsionado o uso de tecnologias inovadoras, como os sistemas aéreos não tripulados (tradução de *Unmanned Aircraft Systems*) - UAS.

Os Sistemas de Aeronaves Não Tripuladas (sUAS) abrangem um conjunto integrado de tecnologias destinadas à operação de aeronaves remotamente pilotadas ou autônomas. Esses sistemas incluem não apenas a aeronave em si, comumente conhecida como drone, mas também os componentes essenciais para sua funcionalidade e aplicação prática. Entre esses componentes, destacam-se o sistema de controle ou rádio comunicador, responsável pela emissão de comandos e transmissão de imagens, o conjunto de sensores e instrumentos embarcados, o sistema de comunicação e os softwares responsáveis pelo processamento dos dados obtidos.

A relevância das tecnologias associadas ao uso de UAS na gestão de segurança de barragens é inegável, pois essas ferramentas aprimoram significativamente as capacidades de monitoramento e análise (Peng *et al.*, 2024). Os UAS podem ser

equipados com uma variedade de sensores e câmeras térmicas que permitem a detecção de variações de temperatura, um indicador importante de problemas estruturais, como infiltrações ou falhas materiais. Além disso, o uso de softwares de análise de dados possibilita o processamento e a interpretação de grandes volumes de informações coletadas durante as inspeções, facilitando a identificação de padrões e a avaliação de riscos.

A integração das tecnologias de drones com técnicas de *deep learning* também é uma inovação promissora, permitindo a identificação automática de anomalias nas estruturas das barragens. Ao treinar algoritmos para reconhecer características normais e anômalas, é possível aumentar a precisão e a rapidez nas avaliações, garantindo uma gestão de risco mais eficaz e proativa. Essa combinação de tecnologias não apenas eleva o padrão de monitoramento, mas também contribui para uma abordagem mais sustentável e segura na supervisão de estruturas críticas (Zhao *et al.*, 2024).

A crescente demanda por práticas eficazes de gestão de risco em barragens reflete a importância de métodos que garantam a segurança e a continuidade das funções essenciais dessas estruturas. Este artigo realiza uma revisão sistemática da literatura sobre o uso de UAS na gestão de segurança de barragens, com o objetivo de consolidar as evidências sobre as principais aplicações, tecnologias e metodologias adotadas. Além de explorar os avanços no uso de tecnologias associadas aos UAS, este estudo aborda a versatilidade das possibilidades de utilização do equipamento. Com isso, espera-se fornecer um panorama das melhores práticas e lacunas existentes na aplicação de UAS em barragens, contribuindo para um entendimento mais profundo dos benefícios e limitações dessas tecnologias e orientando futuros desenvolvimentos na área.

Metodologia

As revisões sistemáticas da literatura (RSL) desempenham um papel fundamental para consolidar o conhecimento sobre um tema, fornecendo uma visão abrangente das pesquisas já realizadas. Esse tipo de análise permite mapear o desenvolvimento histórico do assunto, compreender os principais avanços, além de identificar lacunas e áreas que necessitam de mais estudos (Hartwig *et al.*, 2024). Através desse processo, pesquisadores podem identificar padrões, contradições e questões não resolvidas, orientando futuras investigações e contribuindo para o aprimoramento do conhecimento científico em uma área específica.

Para orientar a RSL, foram desenvolvidas perguntas estruturadas com base nos critérios PICo (População, Interesse e Contexto), conforme descrito no Quadro 1. A aplicação desses critérios permite maior precisão na identificação de estudos que realmente contribuem para o tema, favorecendo uma análise mais focada e relevante para o objetivo da pesquisa.

Quadro 1 – Descrição dos elementos PICo da pesquisa

População	Barragens de terra, concreto e outras estruturas hidráulicas que estejam submetidas a gestão risco e inspeção regular para evitar falhas e garantir segurança operacional.
Interesse	Uso de Sistemas Aéreos Não Tripulados (UAS) na gestão de segurança das barragens, com foco em sua aplicação para detectar anomalias, capturar imagens aéreas e coletar dados em áreas de difícil acesso.
Contexto	Cenários variados da gestão de risco e inspeção de barragens em diferentes condições geográficas e climáticas, utilizando tecnologias avançadas, como sensores, câmeras de alta resolução e softwares de análise de dados.

Fonte: Autores.

Os artigos selecionados para este estudo foram encontrados nas bases de dados "Science Direct", "Scopus" e "Web of Science". Os termos de busca, apresentados no quadro 2 e definidos com base no critério PICo, incluíram palavras-chave que resultaram em um grande volume de artigos sobre o uso de Sistemas de Aeronaves Não Tripuladas (UAS) na gestão de riscos e segurança de barragens.

Tabela 2 – Termos empregados nas consultas realizadas nas bases de dados:

“Dam Inspection”	OR	“Dam”	OR	"Hydraulic Structures"
AND				
“Unmanned Aerial Systems”	OR	“Drones”	OR	“UAS”

Fonte: Autores.

As buscas abrangeram trabalhos publicados entre 2014 e 2024, nos idiomas inglês, português e espanhol. Realizada em outubro de 2024, a pesquisa considerou todos os artigos disponíveis até essa data. O uso da tecnologia UAS, embora em expansão, ainda é relativamente recente, o que se reflete no número reduzido de publicações com mais de sete anos. Essa característica ressalta o crescimento da pesquisa nos últimos anos e sugere oportunidades para explorar novas abordagens e estudos na aplicação tecnológica na gestão de riscos e segurança de barragens.

Para selecionar estudos relevantes, foram estabelecidos critérios de inclusão e exclusão voltados para o uso de UAS na gestão de segurança de barragens. Conforme pode ser visualizado no Quadro 3, como critérios de inclusão, foram considerados apenas estudos publicados nos últimos 10 anos, em razão do recente desenvolvimento e aprimoramento das tecnologias de UAS, e que tratem diretamente da aplicação dos UAS na inspeção e segurança de barragens, sejam estas de terra, concreto ou outras estruturas hidráulicas.

Foram incluídos artigos revisados por pares e relatórios técnicos relevantes, disponíveis nos idiomas inglês, português ou espanhol, facilitando uma análise completa. Em contrapartida, foram excluídos estudos que não envolvem o uso de drones/UAS em barragens, artigos duplicados, publicações sem dados experimentais ou revisões críticas, e aqueles indisponíveis ou acessíveis apenas mediante pagamento. Esses critérios visaram garantir a qualidade e a aplicabilidade das publicações selecionadas, focando em dados relevantes e acessíveis para uma compreensão abrangente e atualizada do tema.

Quadro 3 – Critérios de inclusão e exclusão dos trabalhos levantados

Critérios de Inclusão	Critérios de Exclusão
Estudos publicados nos últimos 10 anos, devido ao recente desenvolvimento e aprimoramento das tecnologias de UAS;	Estudos que não envolvem a utilização de drones / UAS em barragens, seja para inspeção ou gestão da segurança;
Devem tratar diretamente da aplicação de drones na gestão em segurança de barragens, seja de terra, concreto ou outros tipos de estruturas hidráulicas;	Artigos que não estão disponíveis em inglês, português ou espanhol, exclui-se estudos em idiomas que não sejam acessíveis para análise completa;
Artigos revisados por pares e relatórios técnicos relevantes.	Publicações duplicadas ou que não apresentem dados experimentais ou revisões críticas;
-	Artigos indisponível ou com acesso apenas mediante pagamento.

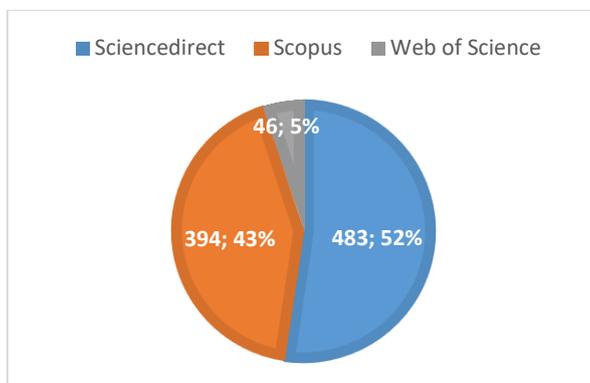
Fonte: Autores.

Resultados e Discussões

Seguindo o método PRISMA, a seleção dos artigos foi realizada a partir de três bases de dados científicas amplamente reconhecidas na literatura acadêmica, foram identificados 483 artigos na *Science Direct*, 394 na *Scopus* e 46 estudos na *Web of Science*, totalizando 923 artigos iniciais, a Figura 1 apresenta a distribuição percentual

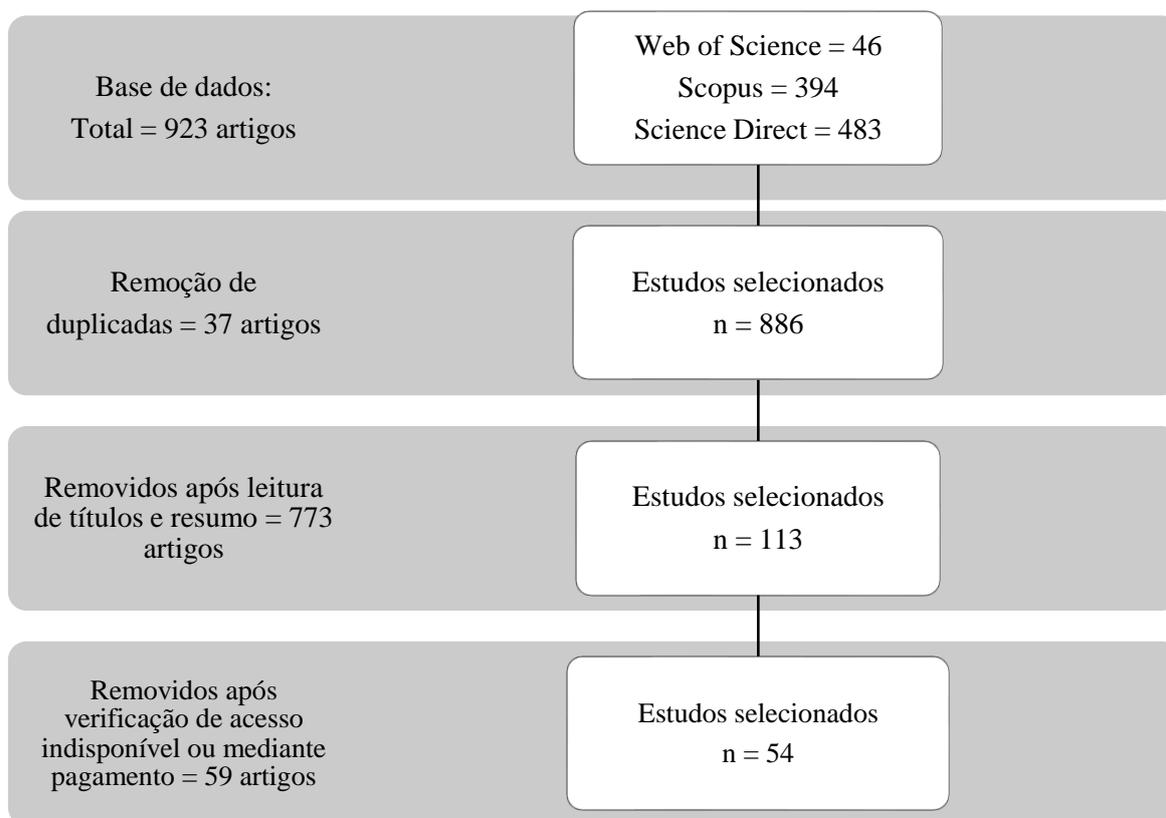
das publicações, ilustrando a representatividade de cada base de dados no conjunto inicial de estudos coletados.

Figura 1 – Percentual de artigos por bases de dados



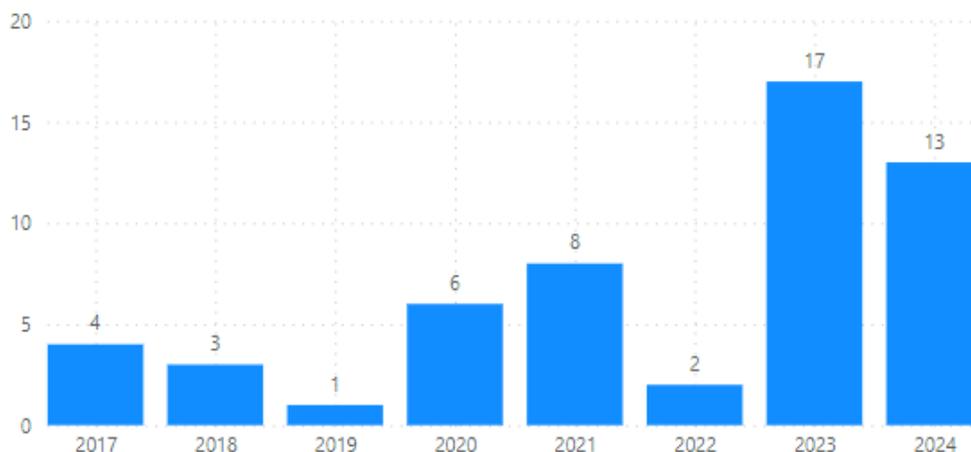
Fonte: Autores

Como ilustrado no fluxograma da Figura 2, após a aplicação dos critérios de inclusão e exclusão definidos na metodologia, o processo resultou na exclusão de 37 artigos duplicados e 773 artigos eliminados após a análise de título e resumo. Assim, restaram 113 artigos para a etapa de extração. Contudo, devido a dificuldades na obtenção de dados completos de alguns estudos, 59 artigos foram descartados nesta fase, resultando em um total de 54 artigos elegíveis para análise final.

Figura 2 – Fluxograma PRISMA para seleção de artigos

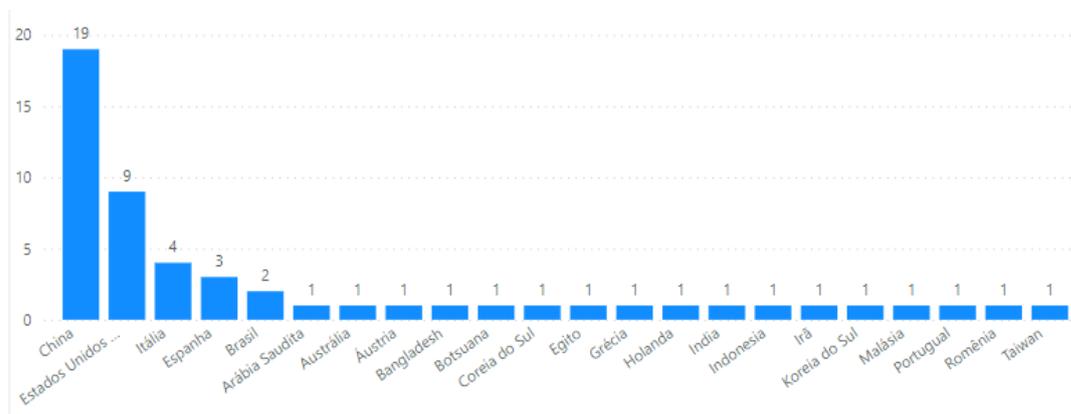
Fonte: Adaptado de Page *et al.* (2021).

A Figura 3 apresenta a distribuição temporal dos artigos analisados neste estudo, observa-se um crescimento significativo nas publicações sobre o tema nos anos de 2023 e 2024. Esse aumento reflete um recente de interesse acadêmico e desenvolvimento das aplicações de UAS na gestão da segurança de barragens, mas também um avanço nas tecnologias associadas e o desenvolvimento de equipamentos comerciais. O crescimento recente das publicações pode estar relacionado a diversos fatores, incluindo a evolução das regulamentações que permitem um uso mais amplo bem como do acesso aos equipamentos com um maior número de aeronaves disponibilizadas comercialmente.

Figura 3 – Número de publicações pesquisadas levantadas por ano.

Fonte: Autores.

A Figura 4 mostra os países de origem do desenvolvimento das pesquisas, no que se refere à distribuição geográfica, a China lidera em número de publicações, seguida pelos Estados Unidos. Essa predominância demonstra a relevância e o envolvimento desses países na pesquisa e no desenvolvimento tecnológico voltado para o uso de UAS na gestão da segurança de barragens. A liderança chinesa pode estar relacionada a diversos fatores, incluindo o intenso investimento governamental em pesquisa e inovação, a ampla infraestrutura de barragens no país que exige monitoramento contínuo e a presença de empresas que dominam o mercado global de UAS comerciais. Outros países também apresentam contribuições relevantes, ainda que em menor número, o que demonstra que o uso de UAS na gestão de barragens é um campo de pesquisa em expansão global.

Figura 4 – Número de publicações pesquisadas levantadas por país.

Fonte: Autores.

Os artigos analisados abrangem um amplo espectro de aplicações na gestão da segurança de barragens, incluindo desde inspeções visuais convencionais e monitoramento estrutural contínuo de barragens até análise avançada de precisão de modelos tridimensionais de barragens gerados a partir de levantamentos com UAS. Entre as principais contribuições identificadas, destacam-se o uso de UAS para as inspeções visuais detalhadas, monitoramento de barragens, detecção automatizada de fissuras e anomalias estruturais com imagens de alta resolução, medição do volume de sedimentos e a modelagem hidrodinâmica a partir das imagens.

As investigações revelam uma ampla variedade de aplicações práticas dos UAS, demonstrando a versatilidade dessa tecnologia para diferentes contextos na segurança de barragens. O Quadro 4 apresenta os 54 artigos selecionados, que abrangem um total 23 abordagens diferentes destinadas na utilização dos UAS nesse campo. Cada estudo é detalhado com informações específicas, incluindo título, autores, ano de publicação, país de origem, número de citações, periódico em que o artigo foi publicado e o tipo de abordagem metodológica desenvolvida.

Quadro 4 – Trabalhos selecionados (continua)

Nº	Título	Autor	Ano	País	Citações	Revista	Estudos Desenvolvidos
1	3D Numerical Modelling of Tailings Dam Breach Run Out Flow over Complex Terrain: A Multidisciplinary Procedure	Wang <i>et al.</i>	2020a	China	24	Water	Modelagem hidrodinâmica da barragem
2	Accuracy analysis of a dam model from drone surveys	Wang; Shu	2022	Itália	66	Buildings	Elaboração de modelos tridimensionais
3	Achieving Tiered Model Quality in 3D Structure from Motion Models Using a Multi-Scale View-Planning Algorithm for Automated Targeted Inspection	Okeson <i>et al.</i>	2019	Estados Unidos da América	11	Sensors	Inspeção visual
4	A Comprehensive Survey on Visual Perception Methods for Intelligent Inspection of High Dam Hubs	Peng <i>et al.</i>	2024	China	0	Sensors	Inspeção visual

5	A Digital Twin Dam and Watershed Management Platform	Park; You	2023	Koreia do Sul	16	Water	Monitoramento
6	A Low-Cost, UAV-Based, Methodological Approach for Morphometric Analysis of Belci Lake Dam Breach, Romania	Enea <i>et al.</i>	2023	Romênia	3	Water	Análise morfológica após desastre para fomento de cultura de segurança
7	A Monitoring Method Integrating Terrestrial Laser Scanning and Unmanned Aerial Vehicles for Different Landslide Deformation Patterns	Jiang <i>et al.</i>	2021	China	30	Journal of selected topics in applied earth observations and remote sensing	Análise e monitoramento de deslizamento de encostas
8	Analysis of Storage Capacity Change and Dam Failure Risk for Tailings Ponds Using WebGIS-Based UAV 3D Image	Zhi <i>et al.</i>	2023	China	1	Sustainability	Monitoramento
9	Aplicación de la fotogrametría con drones al control deformacional de estructuras y terreno	Gómez-Zurdo <i>et al.</i>	2021	Espanha	19	Informes de la Construcción	Monitoramento

Quadro 4 – Trabalhos selecionados (continua)

Nº	Título	Autor	Ano	País	Citações	Revista	Estudos Desenvolvidos
10	A Review of Tailings Dam Safety Monitoring Guidelines and Systems	Zare <i>et al.</i>	2024	Estados Unidos da América	1	Minerals	Monitoramento
11	A robotic cognitive architecture for slope and dam inspections	Pinto <i>et al.</i>	2020	Brasil	32	Sensors	Inspeção visual
12	A Slope Structural Plane Extraction Method Based on Geo-AINet Ensemble Learning with UAV Images	Zhang <i>et al.</i>	2023	China	1	Remote Sensing	Análise e monitoramento de deslizamento de encostas
13	Automatic Damage Detection and Diagnosis for Hydraulic Structures Using Drones and Artificial Intelligence Techniques	Zhu; Tang	2023	China	54	Remote Sensing	Inspeção visual
14	Automatic pixel-level crack detection on dam surface using deep convolutional network	Feng <i>et al.</i>	2020	China	102	Sensors	Deteção de fissuras

15	Beyond 5G Satellite Transmission and Indoor UAVs in Dams Monitoring: An Opportunistic Data Collection Strategy for Isolated Rural Areas	Jesus-Azabal <i>et al.</i> 2024	Espanha	0		IT Professional	Monitoramento
16	Calibration of finite element models of concrete arch-gravity dams using dynamical measures: The case of Ridracoli	Buffi <i>et al.</i> 2017	Itália	28		X International Conference on Structural Dynamics	Calibração de modelos de elementos finitos
17	Coastal dam inundation assessment for the yellow river delta: Measurements, analysis and scenario	Wang <i>et al.</i> 2020b	China	32		Remote Sensing	Modelagem hidrodinâmica da barragem
18	Combination of HBIM and UAV photogrammetry for modelling and documentation of forgotten heritage. Case study: Isabel II dam in Nijar (Almeria, Spain)	Martínez-Carricondo <i>et al.</i> 2021	Espanha	35		Heritage Science	Modelagem BIM de barragem

Quadro 4 – Trabalhos selecionados (continua)

Nº	Título	Autor	Ano	País	Citações	Revista	Estudos Desenvolvidos
19	Combining UAV remote sensing and pedological analyses to better understand soil erosion	Karimineja <i>et al.</i> 2023	Irã		10	Geoderma	Combinação de UAS e análise pedológica em <i>piping</i>
20	Dam periodic storage drives the spatial pattern of vegetation towards banded Evolution	Jiang <i>et al.</i> 2023	China		2	Ecological Indicators	Levantamento da flora nas áreas da barragem
21	Dam UAV Image Stitching Technology Studies Based on Weak Texture	Liu <i>et al.</i> 2023	China		0	Journal of Physics: Conference Series	Inspeção visual
22	Drone-based optical measurements of heterogeneous surface velocity fields around fish passages at hydropower dams	Strelnikova <i>et al.</i> 2020	Áustria		51	Remote Sensing	Medição da velocidade em passagem de peixes em barragem
23	Drones, virtual reality, and modeling: communicating catastrophic dam failure	Spero <i>et al.</i> 2022	Estados Unidos da América		20	International Journal of Digital Earth	Geração de realidade virtual após desastre para fomento de cultura de segurança

24	Efficiency Study of Combined UAS Photogrammetry and Terrestrial LiDAR in 3D Modeling for Maintenance and Management of Fill Dams	Kang <i>et al.</i> 2023	Coreia do Sul	4	Remote Sensing	Monitoramento
25	Enhanced Precision in Dam Crack Width Measurement: Leveraging Advanced Lightweight Network Identification for Pixel-Level Accuracy	Wu <i>et al.</i> 2023	China	54	International Journal of Intelligent Systems	Detecção de fissuras
26	Evaluating an optimum slit check dam design by using a 2D unsteady numerical model	Chen; Tfwala	Taiwan	4	E3S Web Conferences	Medição do volume de sedimento
27	Evaluation of Sabo Infrastructure Using UAV/Drone Technology for Monitoring and Inspection Data (Case Study: Sabo Dam Bakalan, Cangkringan District, Sleman)	Munir <i>et al.</i> 2024	Indonesia	0	IOP Conference Series: Earth and Environmental Science	Medição do volume de sedimento

Quadro 4 – Trabalhos selecionados (continua)

Nº	Título	Autor	Ano	País	Citações	Revista	Estudos Desenvolvidos
28	How memory effects, check dams, and channel geometry control erosion and deposition by debris flows	De Haas <i>et al.</i>	2020	Holanda	50	Nature Scientific Reports	Medição do volume de sedimento
29	Hydrodynamic modeling of dam breach floods for predicting downstream inundation scenarios using integrated approach of satellite data, unmanned aerial vehicles (UAVs), and Google Earth Engine (GEE)	Darji <i>et al.</i>	2024	Índia	1	Applied Water Science	Modelagem hidrodinâmica da barragem
30	Intelligent Segmentation and Change Detection of Dams Based on UAV Remote Sensing Images	Zhao <i>et al.</i>	2023	China	1	Remote Sensing	Monitoramento
31	Intelligent segmentation method for blurred cracks and 3D mapping of width nephograms in concrete dams using UAV photogrammetry	Zhao <i>et al.</i>	2024	China	6	Automation in Construction	Detecção de fissuras

32	LCA-YOLOv8-Seg: An Improved Lightweight YOLOv8-Seg for Real-Time Pixel-Level Crack Detection of Dams and Bridges	Wu <i>et al.</i> 2023	China	18	Applied Sciences	Detecção de fissuras
33	Measuring the volume of flushed sediments in a reservoir using multi-temporal images acquired with UAS	Pagliari <i>et al.</i> 2017	Itália	30	Geomatics, Natural Hazards Risk	Medição do volume ande sedimento
34	Mission planning for photogrammetry-based autonomous 3D Mapping of Dams using a commercial UAV	Simplicio; Pereira 2024	Brasil	52	International Conference on Unmanned Aircraft Systems	Inspeção visual
35	Monitoring and Quantifying Soil Erosion and Sedimentation Rates in Centimeter Accuracy Using UAV-Photogrammetry, GNSS, and t-LiDAR in a Post-Fire Setting	Alexiou <i>et al.</i> 2024	Grécia	1	Remote Sensing	Medição do volume de sedimento

Quadro 4 – Trabalhos selecionados (continua)

Nº	Título	Autor	Ano	País	Citações	Revista	Estudos Desenvolvidos
36	Monitoring of a rockfill embankment dam using TLS and sUAS point clouds	Bolkas <i>et al.</i>	2024	Estados Unidos da América	1	Journal of Applied Geodesy	of Monitoramento
37	Multi-feature supported dam height measurement method for large hydraulic projects using high resolution remote sensing imagery	Ma <i>et al.</i>	2024	China	0	International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation	Aferição de medidas dos elementos da barragem
38	Multi-Level Hazard Detection Using a UAV-Mounted Multi-Sensor for Levee Inspection	Su <i>et al.</i>	2024	China	3	Drones	Inspeção visual
39	Mutual validation of remote hydraulic estimates and flow model simulations using UAV-borne LiDAR and deep learning-based imaging techniques	Islam <i>et al.</i>	2023	Bangladesh	9	Results in Engineering	Inspeção visual
40	Potential benefits of combining anomaly detection with view planning for UAV infrastructure modeling	Martin <i>et al.</i>	2017	Estados Unidos da América	27	Remote Sensing	Sensoriamento remoto na análise de corpo hídrico

41	Prediction of Turbidity and TDS in Dam Reservoir from Multispectral UAV-Drone and Sentinel-2 Imageal. Sensors Using Machine Learning Models	Ouma <i>et al.</i> 2024	Botsuana	0		10th International Conference on Geographical Information Systems Theory, Applications and Management	Inspeção visual
42	Rapid Monitoring and Quality Control of Embankment Dam Construction Based on UAV Photogrammetry Technology: A Case Study	Yin <i>et al.</i> 2023	China	6		Remote Sensing	Monitoramento da compactação de barragem de aterro
43	Regional mapping method of land acquisition for water conservancy and hydropower construction based on UAV aerial survey	Luo 2023	China	2		Journal of Measurements in Engineering	Sensoriamento remoto para construção de barragem

Quadro 4 – Trabalhos selecionados (continua)

Nº	Título	Autor	Ano	País	Citações	Revista	Estudos Desenvolvidos
44	Remote sensing of aerated flows at large dams: Proof of concept	Kramer; Felder	2021	Austrália	12	Remote Sensing	Sensoriamento remoto para monitorar fluxo aerados
45	Resilient critical infrastructure: Bayesian network analysis and contract-Based optimization	Eldosouky <i>et al.</i>	2017	Estados Unidos da América	57	Reliability Engineering & System Safety	Subsídio de dados para otimização da resiliência
46	Smart Flood Detection with AI and Blockchain Integration in Saudi Arabia Using Drones	Alsumayt <i>et al.</i>	2023	Arábia Saudita	18	Sensors	Modelagem hidrodinâmica da barragem
47	Structural health monitoring and inspection of dams based on UAV photogrammetry with image 3D reconstruction	Marcelino <i>et al.</i>	2024	Portugal	124	XVIII European Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering	Inspeção visual
48	Structural health monitoring with UAV	Rezk <i>et al.</i>	2023	Egito	233	Journal of Physics: Conference Series	Detecção de fissuras

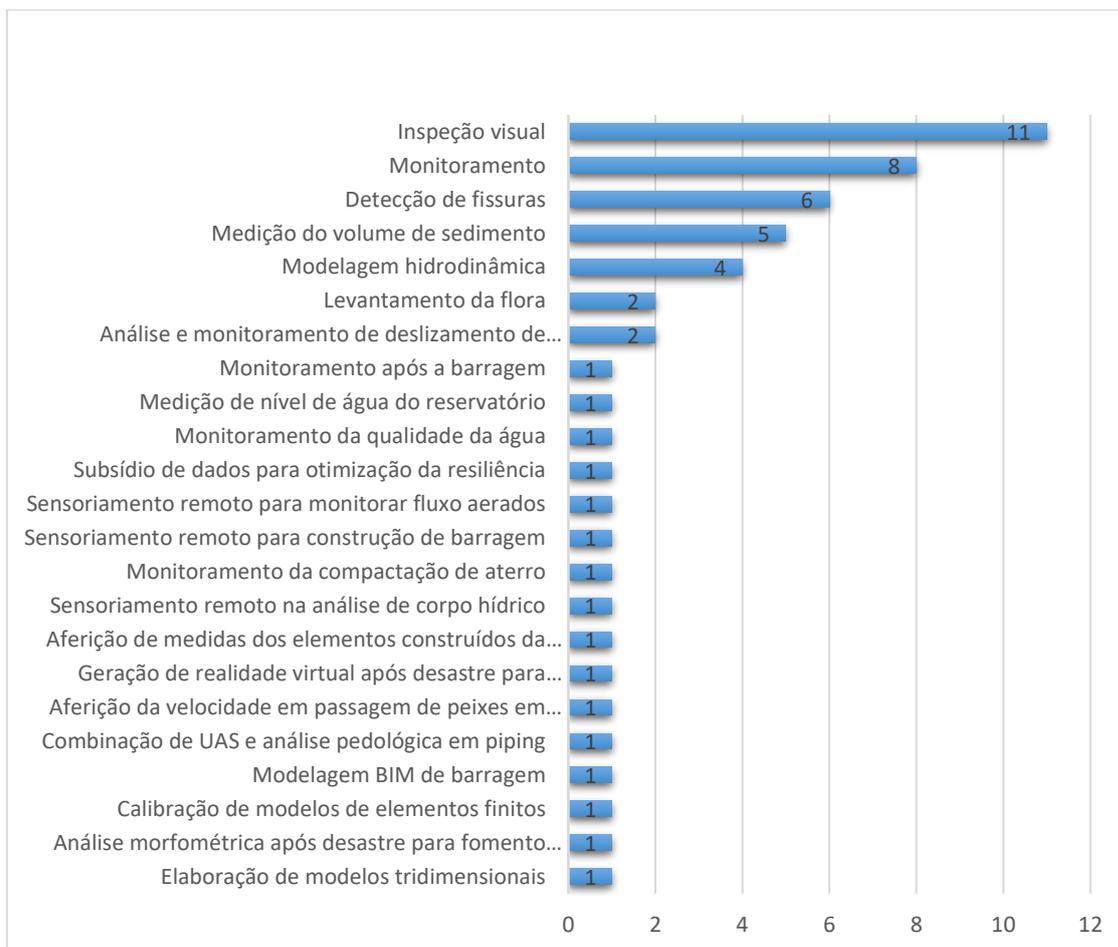
49	sUAS remote sensing for closed-canopy tree inventory on earthen dams	Wang <i>et al.</i>	2021	Estados Unidos da América	12	12th International Symposium on Digital Earth: Digital Earth for Sustainable Societies	Levantamento da flora nas áreas da barragem
50	UAV and Structure-From-Motion Photogrammetry Enhance River Restoration Monitoring: A Dam Removal Study	Evans <i>et al.</i>	2022	Estados Unidos da América	16	Drones	Monitoramento
51	Unmanned aerial vehicle for eutrophication process monitoring in Timah Tasoh Dam, Perlis, Malaysia	Sheng <i>et al.</i>	2021	Malásia	6	International Conference on Civil and Environmental Engineering	Monitoramento da qualidade da água
52	Utilizing UAV and 3D computer vision for visual inspection of a large gravity dam	Khaloo <i>et al.</i>	2018	Estados Unidos da América	79	Frontiers in Built Environment	Inspeção visual

Quadro 4 – Trabalhos selecionados (conclusão)

Nº	Título	Autor	Ano	País	Citações	Revista	Estudos Desenvolvidos
53	Water level measurements from drones: A Pilot case study at a dam site	Ridolfi; Manciola	2018	Itália	83	Water	Medição de nível de água do reservatório
54	Weak feature crack detection in high-resolution concrete dam surface image with LarkMNet	Li <i>et al.</i>	2024	China	1	Measurement	Detecção de fissuras

Fonte: Autores.

A figura 5 ilustra a distribuição das temáticas abordadas em estudos que utilizam UAS para as diversas aplicações na gestão de segurança de barragens e ambientes relacionados. As categorias foram classificadas de acordo com o número de publicações dedicadas a cada tema.

Figura 5 – Análise dos estudos desenvolvidos

Fonte: Autores.

A "Utilização de UAS para inspeção visual" é o tema mais abordado, com 11 publicações, evidenciando o interesse crescente nessa aplicação para barragens. Essa preferência pode ser explicada pelo baixo custo e flexibilidade dos UAS, que permitem a captura de imagens de alta resolução capazes de identificar danos estruturais potenciais. A utilização de UAS é especialmente vantajosa em barragens de rejeitos, onde há presença de áreas de difícil acesso e, em muitos casos, de condições ambientais insalubres que dificultam a inspeção presencial pelos técnicos.

O "Monitoramento de barragem" vem em segundo lugar, com 8 estudos, seguido por "Detecção de fissuras com imagens de alta resolução", com 6 artigos, e "Utilização do UAS para medir volume de sedimentos", com 5 publicações. Esses temas demonstram o uso do UAS não apenas para monitoramento visual, mas também para medições e análises detalhadas, contribuindo para a avaliação da estabilidade e da integridade das estruturas.

Outros tópicos, como "Modelagem hidrodinâmica da barragem" e "Análise e monitoramento de deslizamento de encostas", aparecem com 4 e 2 publicações, respectivamente. Esses estudos geralmente envolvem o uso de dados coletados pelos UAS para simulações e análises computacionais que auxiliam no planejamento e na mitigação de riscos. Temas como "Calibração de modelos de elementos finitos", "Monitoramento da qualidade da água" e "Utilização do UAS na modelagem BIM de barragens" possuem apenas uma publicação cada, refletindo que são áreas de estudo emergentes ou que possuem nichos específicos de aplicação, mas com grande potencial de uso, conforme afirma Martínez-Carricondo *et al.* (2021), a utilização da fotogrametria com UAS, em conjunto com o plugin As-Built for Autodesk Revit-FARO, permite obter modelos representativos da realidade com precisão de ± 0.05 m.

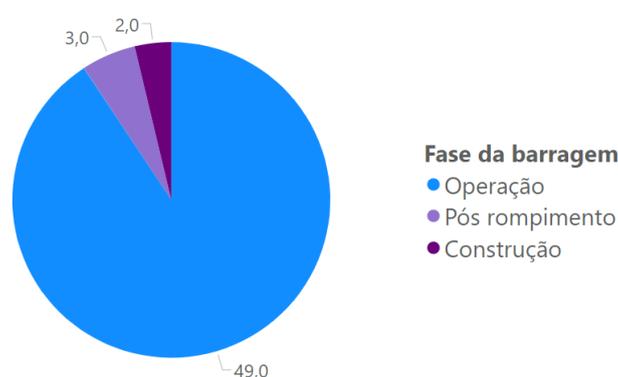
Entre as técnicas estudadas, a fotogrametria destaca-se como uma das mais amplamente utilizadas em diversos estudos para mapeamento 3D de estruturas, inspeção, monitoramento e detecção de fissuras em estruturas de concreto. De acordo com Gómez-Zurdo *et al.* (2021), o uso da fotogrametria com drones para monitoramento de uma barragem do tipo arco-gravidade alcançou uma precisão de ± 2 mm nas medições de deformação, evidenciando a alta acurácia da técnica. Além da fotogrametria, tecnologias como LiDAR e sensoriamento multiespectral também são empregadas em conjunto com UAS, permitindo, por exemplo, a medição da turbidez da água em reservatórios, a detecção de vazamentos e a análise de erosões internas em barragens de terra.

A integração de tecnologias de UAS com ferramentas de aprendizado de máquina, como *Machine Learning* e *Deep Learning*, amplia ainda mais as possibilidades de aplicação no monitoramento e na inspeção de barragens. Algoritmos de *Deep Learning* podem ser utilizados para a detecção automática de rachaduras em imagens capturadas pelos UAS, enquanto técnicas de *Machine Learning* podem ser aplicadas para a previsão de eventos críticos, como falhas em barragens. Essa combinação de metodologias permite o desenvolvimento de sistemas de monitoramento mais eficazes, com capacidade de identificar e antecipar problemas estruturais, contribuindo para a gestão e a segurança de grandes estruturas hidráulicas.

A versatilidade da tecnologia do UAS é evidente quando analisada em diferentes fases do ciclo de vida das barragens. Conforme demonstrado na figura 6, durante a fase de operação, foram identificados 49 estudos, evidenciando o uso intensivo dos UAS para monitoramento e inspeção contínua dessas estruturas. Nos pós barragem 3 estudos

abordaram o uso de UAS após o rompimento da barragem, com foco em análises morfométricas e geomorfológicas da área afetada. Na fase de construção, há 2 estudos, um deles utiliza o UAS para avaliar de forma quantitativa e qualitativa a compactação do corpo de aterro, demonstrando o potencial dessa tecnologia para garantir a qualidade e segurança do processo construtivo de barragens. Esses dados sugerem que, embora a tecnologia UAS seja amplamente adotada para monitoramento em operação, ainda há lacunas significativas em sua aplicação o que representa uma oportunidade para estudos futuros.

Figura 6: Número de estudos por fase da barragem



Fonte: Autores

Dentre as lacunas identificadas na literatura sobre o uso de UAS em barragens, destaca-se a necessidade de estudos específicos voltados à inspeção de elementos estruturais como vertedouros. Nesse contexto, o uso de câmeras de alta resolução associadas a algoritmos de *Deep Learning* poderia detectar, em estágios iniciais, comprometimentos na superfície que acelerem o processo de cavitação, contribuindo para a prevenção de danos estruturais mais graves quando esses elementos estiverem em uso. Outro aspecto que merece maior investigação é a utilização dos dados capturados pelos UAS para validar os instrumentos de monitoramento integrados à barragem, o que pode aumentar a precisão e acurácia desses equipamentos e, consequentemente, melhorar a confiabilidade das medições. Além disso, há uma oportunidade para o uso de UAS no mapeamento de habitações ou outras estruturas irregulares situadas a jusante da barragem, o que auxiliaria na identificação de áreas de risco e no planejamento de ações de mitigação em caso de falhas ou emergências.

Uma lacuna relevante identificada é a ausência de estudos que explorem o uso de câmeras com termografia infravermelha na inspeção de barragens, especialmente para a

identificação de surgências, as quais podem indicar infiltrações e potenciais pontos de falha na estrutura. A utilização de câmeras termográficas poderia oferecer uma ferramenta valiosa para o monitoramento auxiliando na detecção precoce de problemas internos. Da mesma forma, a falta de pesquisas focadas na análise da redução de custos operacionais com a implementação de UAS nas rotinas de inspeção e monitoramento. Estudos que quantifiquem esses benefícios econômicos podem fortalecer o argumento para a adoção dessa tecnologia, uma vez que o uso de UAS tende a diminuir a necessidade de inspeções manuais, reduzir o tempo de inspeção e melhorar a eficiência dos processos de monitoramento de segurança em barragens.

Considerações Finais

O presente estudo teve como objetivo examinar pesquisas relacionadas ao uso de UAS na gestão de segurança de barragens em suas diversas potencialidades, consolidando e organizando o conhecimento existente sobre a aplicação de Sistemas de Aeronaves Não Tripuladas (UAS) na gestão da segurança de barragens. Por meio de uma Revisão Sistemática da Literatura, utilizando o método PRISMA, o artigo identificou as principais aplicações dessas tecnologias, tendências emergentes e apontamento de lacunas ainda presentes nas pesquisas. Dessa forma, este trabalho se estabelece como uma base teórica e metodológica relevante para pesquisadores, engenheiros e gestores, incentivando novas investigações e promovendo o avanço científico na aplicação de UAS para a segurança e monitoramento de barragens.

A revisão sistemática evidenciou que a adoção de UAS tem proporcionado avanços significativos na identificação precoce de anomalias, na medição de deformações estruturais e na análise da estabilidade das barragens. A fotogrametria baseada em UAS se destacou como uma das técnicas mais utilizadas, possibilitando a geração de modelos tridimensionais detalhados para a avaliação da integridade estrutural das barragens. Além disso, outras tecnologias, como LiDAR e sensoriamento multiespectral, têm ampliado as possibilidades de monitoramento, permitindo a detecção de variações térmicas e mudanças na composição dos materiais. A integração dos UAS com técnicas de aprendizado de máquina e inteligência artificial também se revelou promissora, promovendo a automatização da análise de imagens e a identificação de padrões indicativos de falhas estruturais.

O estudo destaca a ampla distribuição geográfica das pesquisas sobre o uso de UAS na gestão da segurança de barragens, evidenciando contribuições provenientes de países dos cinco continentes. Esse panorama global demonstra o crescente interesse acadêmico e tecnológico na aplicação de drones para inspeções estruturais. Além disso, a diversidade de abordagens adotadas por diferentes países indica que a tecnologia é aplicada em todas as fases do ciclo de vida das barragens, desde a construção e operação até a manutenção preventiva. Dentre as principais finalidades estudadas, consolidam-se a inspeção visual, o monitoramento estrutural e a detecção de fissuras, confirmando que os UAS representam uma solução eficaz para aprimorar a eficiência das avaliações e aumentar a segurança das infraestruturas hidráulicas.

Apesar dos avanços, a literatura analisada aponta desafios e lacunas que ainda precisam ser superados, tais como a necessidade de protocolos de voo rigorosos, o aprimoramento dos algoritmos de detecção automática de falhas e a ampliação dos estudos sobre a viabilidade econômica da adoção de UAS em larga escala. Além disso, há espaço para pesquisas futuras que explorem o uso dessas tecnologias na validação de sensores embarcados em barragens e na análise de impacto ambiental das estruturas. Dessa forma, os resultados deste estudo reforçam a importância da adoção dos UAS como ferramentas estratégicas para a gestão de riscos em barragens, impulsionando a modernização das práticas de inspeção e monitoramento. O avanço contínuo das tecnologias embarcadas e a crescente integração com sistemas de análise preditiva indicam que os UAS desempenharão um papel cada vez mais central na segurança e manutenção preventiva dessas infraestruturas críticas.

Referências

ALEXIOU, Simoni *et al.* Monitoring and Quantifying Soil Erosion and Sedimentation Rates in Centimeter Accuracy Using UAV-Photogrammetry, GNSS, and t-LiDAR in a Post-Fire Setting. **Remote Sensing**, v. 16, n. 5, p. 802, 2024.

ALSUMAYT, Albandari *et al.* Smart flood detection with AI and blockchain integration in Saudi Arabia using drones. **Sensors**, v. 23, n. 11, p. 5148, 2023.

BOLKAS, Dimitrios *et al.* Monitoring of a rockfill embankment dam using TLS and UAS point clouds. **Journal of Applied Geodesy**, n. 0, 2024.

BUFFI, Giulia *et al.* Calibration of finite element models of concrete arch-gravity dams using dynamical measures: the case of Ridracoli. **Procedia engineering**, v. 199, p. 110-115, 2017.

CHEN, Su-Chin; TFWALA, Samkele. Evaluating an optimum slit check dam design by using a 2D unsteady numerical model. In: **E3S Web of Conferences**. EDP Sciences, 2018. p. 03027.

DARJI, Kishanlal *et al.* Hydrodynamic modeling of dam breach floods for predicting downstream inundation scenarios using integrated approach of satellite data, unmanned aerial vehicles (UAVs), and Google Earth Engine (GEE). **Applied Water Science**, v. 14, n. 9, p. 187, 2024.

DE HAAS, Tjalling. *et al.* How memory effects, check dams, and channel geometry control erosion and deposition by debris flows. **Scientific reports**, v. 10, n. 1, p. 14024, 2020.

ELDOSOUKY, AbdelRahman; SAAD, Walid; MANDAYAM, Narayan. Resilient critical infrastructure: Bayesian network analysis and contract-based optimization. **Reliability Engineering & System Safety**, v. 205, p. 107243, 2021.

ENEA, Andrei; IOSUB, Marina; STOLERIU, Cristian Constantin. A Low-Cost, UAV-Based, Methodological Approach for Morphometric Analysis of Belci Lake Dam Breach, Romania. **Water**, v. 15, n. 9, p. 1655, 2023.

EVANS, Alexandra D. *et al.* UAV and structure-from-motion photogrammetry enhance river restoration monitoring: A dam removal study. **Drones**, v. 6, n. 5, p. 100, 2022.

FENG, Chuncheng *et al.* Automatic pixel-level crack detection on dam surface using deep convolutional network. **Sensors**, v. 20, n. 7, p. 2069, 2020.

GÓMEZ-ZURDO, Rubén Sancho *et al.* Aplicación de la fotogrametría con drones al control deformacional de estructuras y terreno. **Informes de la Construcción**, v. 73, n. 561, p. e379-e379, 2021.

HARTWIG, Thábata Bierhals; DOS SANTOS, Thierry Mendes; BEMVENUTI, Renata Heidtmann. The principal organizational factors that lead to turnover intention: a systematic literature review. **Revista Gestão da Produção Operações e Sistemas**, v. 1, 2024.

ISLAM, Md Touhidul *et al.* Mutual validation of remote hydraulic estimates and flow model simulations using UAV-borne LiDAR and deep learning-based imaging techniques. **Results in Engineering**, v. 20, p. 101415, 2023.

JESÚS-AZABAL, Manuel; GARCÍA-ALONSO, José; GALÁN-JIMÉNEZ, Jaime. Beyond 5G Satellite Transmission and Indoor UAVs in Dams Monitoring: An Opportunistic Data Collection Strategy for Isolated Rural Areas. **IT Professional**, v. 26, n. 4, p. 36-41, 2024.

JIANG, Nan *et al.* A monitoring method integrating terrestrial laser scanning and unmanned aerial vehicles for different landslide deformation patterns. **IEEE Journal of**

Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, v. 14, p. 10242-10255, 2021.

JIANG, Weiwei *et al.* Dam periodic storage drives the spatial pattern of vegetation towards banded evolution. **Ecological Indicators**, v. 155, p. 110937, 2023.

KANG, Joonoh *et al.* Efficiency Study of Combined UAS Photogrammetry and Terrestrial LiDAR in 3D Modeling for Maintenance and Management of Fill Dams. **Remote Sensing**, v. 15, n. 8, p. 2026, 2023.

KARIMINEJAD, Narges *et al.* Combining UAV remote sensing and pedological analyses to better understand soil piping erosion. **Geoderma**, v. 429, p. 116267, 2023.

KHALOO, Ali *et al.* Utilizing UAV and 3D computer vision for visual inspection of a large gravity dam. **Frontiers in Built Environment**, v. 4, p. 386907, 2018.

KRAMER, Matthias; FELDER, Stefan. Remote sensing of aerated flows at large dams: Proof of concept. **Remote Sensing**, v. 13, n. 14, p. 2836, 2021.

LI, Jianyuan *et al.* Weak feature crack detection in high-resolution concrete dam surface image with LarkMNet. **Measurement**, v. 238, p. 115327, 2024.

LIU, Si Min *et al.* Dam UAV Image Stitching Technology Studies Based on Weak Texture. In: **Journal of Physics: Conference Series**. IOP Publishing, 2023. p. 012001.

LUO, Chengcai. Regional mapping method of land acquisition for water conservancy and hydropower construction based on UAV aerial survey. **Journal of Measurements in Engineering**, v. 11, n. 3, p. 266-277, 2023.

MA, Runsheng *et al.* Multi-feature supported dam height measurement method for large hydraulic projects using high resolution remote sensing imagery. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 129, p. 103792, 2024.

MARCELINO, João. *et al.* Structural health monitoring and inspection of dams based on Unmanned Aerial Vehicles photogrammetry with image 3D reconstruction. In: **Geotechnical Engineering Challenges to Meet Current and Emerging Needs of Society**. CRC Press, 2024. p. 1807-1810.

MARTIN, Ronald Abraham *et al.* Potential benefits of combining anomaly detection with view planning for UAV infrastructure modeling. **Remote Sensing**, v. 9, n. 5, p. 434, 2017.

MARTÍNEZ-CARRICONDO, Patricio *et al.* Combination of HBIM and UAV photogrammetry for modelling and documentation of forgotten heritage. Case study: Isabel II dam in Níjar (Almería, Spain). **Heritage Science**, v. 9, n. 1, p. 95, 2021.

MUNIR, Misbakhul *et al.* Evaluation of Sabo Infrastructure Using UAV/Drone Technology for Monitoring and Inspection Data (Case Study: Sabo Dam Bakalan, Cangkringan District, Sleman). In: **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**. IOP Publishing, 2024. p. 012020.

OKESON, Trent *et al.* Achieving Tiered Model Quality in 3D Structure from Motion Models Using a Multi-Scale View-Planning Algorithm for Automated Targeted Inspection. **Sensors**, v. 19, n. 12, p. 2703, 2019.

OUMA, Yashon *et al.* Prediction of Turbidity and TDS in Dam Reservoir from Multispectral UAV-Drone and Sentinel-2 Image Sensors Using Machine Learning Models. In: **GISTAM**. 2024. p. 97-104.

PAGE, Matthew *et al.* Declaración PRISMA 2020: una guía actualizada para la publicación de revisiones sistemáticas. **Revista española de cardiología**, v. 74, n. 9, p. 790-799, 2021.

PAGLIARI, Diana *et al.* Measuring the volume of flushed sediments in a reservoir using multi-temporal images acquired with UAS. **Geomatics, Natural Hazards and Risk**, v. 8, n. 1, p. 150-166, 2017.

PARK, DongSoon; YOU, Hojun. A digital twin dam and watershed management platform. **Water**, v. 15, n. 11, p. 2106, 2023.

PENG, Zhangjun *et al.* A Comprehensive Survey on Visual Perception Methods for Intelligent Inspection of High Dam Hubs. **Sensors**, v. 24, n. 16, p. 5246, 2024.

PINTO, Milena F. *et al.* A robotic cognitive architecture for slope and dam inspections. **Sensors**, v. 20, n. 16, p. 4579, 2020.

PRAKASH, Guru *et al.* Recent advancement of concrete dam health monitoring technology: A systematic literature review. In: **Structures**. Elsevier, 2022. p. 766-784.

REZK, Mohamed Yosry *et al.* Structural health monitoring with UAV. In: **International Conference on Aerospace Sciences and Aviation Technology**. The Military Technical College, 2023. p. 1-9.

RIDOLFI, Elena; MANCIOLA, Piergiorgio. Water level measurements from drones: A pilot case study at a dam site. **Water**, v. 10, n. 3, p. 297, 2018.

SHENG, Liyuan *et al.* Unmanned aerial vehicle for eutrophication process monitoring in Timah Tasoh Dam, Perlis, Malaysia. In: **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**. IOP Publishing, 2021. p. 012057.

SIMPLICIO, Paulo VG; PEREIRA, Guilherme AS. Mission planning for photogrammetry-based autonomous 3D Mapping of Dams using a commercial UAV. In: **2024 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS)**. IEEE, 2024. p. 464-471.

SPERO, Hannah R. *et al.* Drones, virtual reality, and modeling: communicating catastrophic dam failure. **International Journal of Digital Earth**, v. 15, n. 1, p. 585-605, 2022.

STRELNIKOVA, Dariia *et al.* Drone-based optical measurements of heterogeneous surface velocity fields around fish passages at hydropower dams. **Remote Sensing**, v. 12, n. 3, p. 384, 2020.

SU, Shan *et al.* Multi-Level Hazard Detection Using a UAV-Mounted Multi-Sensor for Levee Inspection. **Drones**, v. 8, n. 3, p. 90, 2024.

WANG, Cuizhen; SASANAKUL, Inthuorn; BROWN, Herrick. sUAS Remote Sensing for Closed-canopy Tree Inventory on Earthen Dams. **GI_Forum 2021**, v. 9, p. 5-12.

WANG, Dejiang; SHU, Huazhen. Accuracy analysis of three-dimensional modeling of a multi-level UAV without control points. **Buildings**, v. 12, n. 5, p. 592, 2022.

WANG, Guoyang *et al.* Coastal dam inundation assessment for the Yellow River Delta: Measurements, analysis and scenario. **Remote sensing**, v. 12, n. 21, p. 3658, 2020.

WANG, Kun *et al.* 3D numerical modelling of tailings dam breach run out flow over complex terrain: A multidisciplinary procedure. **Water**, v. 12, n. 9, p. 2538, 2020.

WU, Yang *et al.* LCA-YOLOv8-Seg: an improved lightweight YOLOv8-Seg for real-time pixel-level crack detection of dams and bridges. **Applied Sciences**, v. 13, n. 19, p. 10583, 2023.

WU, Zihao *et al.* Enhanced Precision in Dam Crack Width Measurement: Leveraging Advanced Lightweight Network Identification for Pixel-Level Accuracy. **International Journal of Intelligent Systems**, v. 2023, n. 1, p. 9940881, 2023.

YIN, Han *et al.* Rapid compaction monitoring and quality control of embankment dam construction based on UAV photogrammetry technology: A case study. **Remote Sensing**, v. 15, n. 4, p. 1083, 2023.

ZARE, Masoud *et al.* A Review of Tailings Dam Safety Monitoring Guidelines and Systems. **Minerals**, v. 14, n. 6, p. 551, 2024.

ZHANG, Rongchun *et al.* A Slope Structural Plane Extraction Method Based on Geo-AINet Ensemble Learning with UAV Images. **Remote Sensing**, v. 15, n. 5, p. 1441, 2023.

ZHAO, Haimeng *et al.* Intelligent Segmentation and Change Detection of Dams Based on UAV Remote Sensing Images. **Remote Sensing**, v. 15, n. 23, p. 5526, 2023.

ZHAO, Sizeng; KANG, Fei; LI, Junjie. Intelligent segmentation method for blurred cracks and 3D mapping of width nephograms in concrete dams using UAV photogrammetry. **Automation in Construction**, v. 157, p. 105145, 2024.

ZHI, Meihong *et al.* Analysis of Storage Capacity Change and Dam Failure Risk for Tailings Ponds Using WebGIS-Based UAV 3D Image. **Sustainability**, v. 15, n. 19, p. 14062, 2023.

ZHU, Yantao; TANG, Hongwu. Automatic damage detection and diagnosis for hydraulic structures using drones and artificial intelligence techniques. **Remote Sensing**, v. 15, n. 3, p. 615, 2023.

Recebido em 25 de novembro de 2024.

Aceito em 24 de fevereiro de 2025.

Publicado em 06 de maio de 2025.