

# **INSPEÇÃO DE SEGURANÇA DE BARRAGENS DE TERRA, UTILIZANDO DRONE PARA O ESTADO DO MATO GROSSO DO SUL**

Bárbara de Andrade Lopes Quevedo  
Engenheira civil

## **RESUMO**

O conceito da Indústria 4.0 representa uma revolução nos processos produtivos, promovendo automação e inteligência através da utilização de dados para otimizar a produção de forma econômica e eficiente. A aplicação de drones nesse contexto, particularmente na inspeção de barragens, oferece vantagens como segurança, redução de custos e obtenção de dados detalhados. Garantindo a conformidade e a segurança das barragens, enquanto técnicas avançadas como mapeamento 3D e sensores especializados melhoram a precisão das inspeções. Para melhor uso dessas tecnologias e garantir uma supervisão adequada para mitigar riscos e assegurar a integridade das estruturas. Fazendo um estudo de caso no Estado do Mato Grosso do Sul, onde, apesar das 2.147 barragens cadastradas, apenas 25 vistorias foram conduzidas in loco em 2022, das quais somente 18 permitiram uma inspeção completa, por meio do levantamento feito em uma vistoria, utilizando a metodologia proposta, evidencia-se a eficácia dos drones na identificação e quantificação de danos em barragens, assim como na otimização do tempo de inspeção. Este cenário ressalta a necessidade de aprimoramento na abordagem de supervisão das barragens, com o uso de drones emergindo como uma opção viável para aumentar a frequência de vistorias e diminuir essa lacuna considerável.

## **SAFETY INSPECTION OF EARTH DAMS USING DRONE FOR THE STATE OF MATO GROSSO DO SUL**

## **ABSTRACT**

The concept of Industry 4.0 represents a revolution in production processes, promoting automation and intelligence through the use of data to optimize production in an economical and efficient way. The application of drones in this context, particularly in dam inspection, offers advantages such as safety, cost reduction and obtaining detailed data. Ensuring dam compliance and safety, while advanced techniques such as 3D mapping and specialized sensors improve the accuracy of inspections. To better use these technologies and ensure adequate supervision to mitigate risks and ensure the integrity of structures. Conducting a case study in the State of Mato Grosso do Sul, where, despite the 2,147 registered dams, only 25 inspections were carried out on site in 2022, of which only 18 allowed a complete inspection, through a survey carried out in an inspection, using the proposed methodology highlights the effectiveness of drones in identifying and quantifying damage to dams, as well as optimizing inspection time. This scenario highlights the need to improve the approach to dam supervision, with the use of drones emerging as a viable option to increase the frequency of inspections and reduce this considerable gap.

## **1. INTRODUÇÃO**

A chamada Indústria 4.0, foi abordada na Alemanha no ano de 2011 (DRATH; HORCH, 2014) e denominada como quarta revolução industrial. O conceito desta revolução está baseado na integração de tecnologias inovadoras e pessoas (GEBHARDT; GRIMM; NEUGEBAUER, 2015; HADDARA; ELRAGAL, 2015) que já está em curso. Esta nova era promove avanços significativos na automação e na inteligência aplicada aos processos produtivos. Este movimento, que emergiu

globalmente, tem como objetivo revolucionar a interação entre máquinas e a utilização de dados para otimizar a produção, tornando-a mais econômica, autônoma e eficiente.

Este conceito, que vem ganhando força no mundo, foi lançado pela primeira vez, na Alemanha, por meio da feira de Hannover. Esta teve como proposta a elaboração de uma nova tendência industrial baseada em tecnologia de ponta (MATA et al., 2018). A quarta revolução industrial está direcionada para os sistemas “de Produção Ciber-Físicos”, nos quais sensores dizem para as máquinas como elas devem ser processadas e os processos devem governar a si mesmos num sistema modular descentralizado, com coleta de dados e informações em tempo real (HARRISON; VERA; AHMAD, 2016).

Segundo Klaus Martin Schwab (2016), as pessoas estão vivendo no limiar da quarta revolução industrial, ou seja, a Indústria 4.0. Essa é a fase das tecnologias digitais com finalidade de aumento de produção, respondendo com eficiência à demanda, a utilização de drones tem sido extensivamente empregada, particularmente na aquisição de dados, além da execução de tarefas operacionais, segurança e monitoramento. Nesse contexto, a utilização de drones para inspeção de barragens emerge como uma necessidade premente. Além de contornar desafios físicos enfrentados por trabalhadores humanos, tais como fadiga e riscos à segurança e à vida, esses dispositivos estão intrinsecamente ligados à evolução industrial em curso.

As vantagens do uso de tecnologia avançada em inspeções visuais incluem:

- Maior segurança para as equipes envolvidas;
- Redução significativa de custos operacionais;
- Obtenção de dados mais detalhados e análises mais profundas;
- Otimização dos processos;
- Incentivo à cultura de inovação dentro das organizações.

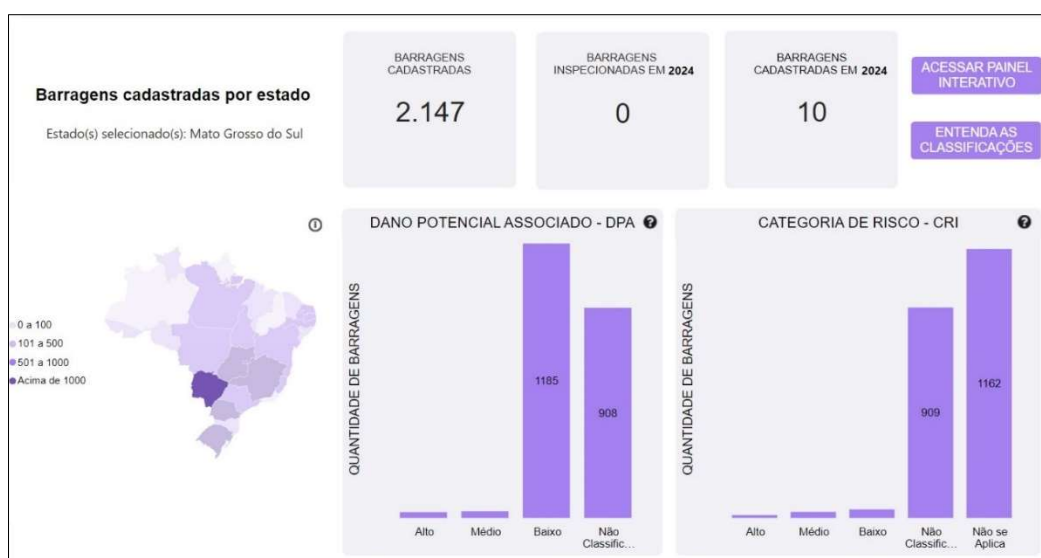


Imagem 1: Painel Barragens Cadastradas Estado do Mato Grosso do Sul Fonte: SNISB

Conforme imagem 1, painel de barragens do Estado do Mato Grosso do Sul, demonstra, uma realidade onde existe muitas barragens sem classificação, e poucas vistorias, devido à falta de

profissional, no órgão gestor só existe um profissional com dedicação a Segurança de Barragem, com essa alta demanda é necessário mecanismo que facilite o fluxo e o enquadramento das barragens na Lei.

A utilização de drones na inspeção de barragens tem se destacado como uma abordagem inovadora, proporcionando vantagens significativas em termos de acesso, completude na detecção de danos e eficiência temporal. Este artigo explora técnicas para avaliar a qualidade de inspeções por drone em barragens, com ênfase na otimização do processo para garantir uma vistoria mais eficaz, melhorando a situação do estado perante ao enquadramento da Lei nº 12.334, de 20 de setembro de 2010. Já que o estado é órgão fiscalizador tem deveres a ser cumpridos, tais como classificar, fiscalizar e cobrar do empreendedor a correta aplicação das ferramentas da Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) e, conseqüentemente, obom funcionamento das barragens.

## **2. DESENVOLVIMENTO**

Neste capítulo está apresentada a fundamentação teórica, junto com levantamento em campo da utilização de drones nas inspeções de segurança de barragens.

### **2.1 Barragens de Terra do Estado do Mato Grosso do Sul**

O uso de drones para monitorar as barragens em Mato Grosso do Sul, especialmente as Barragens de Terras, é uma solução prática diante dos desafios logísticos enfrentados devido à localização remota dessas estruturas. Segundo dados do Instituto do Meio Ambiente do Mato Grosso do Sul (IMASUL), muitas dessas barragens estão em áreas de difícil acesso. A região também é suscetível a condições climáticas extremas, o que pode dificultar ainda mais o acesso terrestre e tornam-se difíceis as inspeções e manutenções convencionais durante esses períodos.

Nesse contexto, os drones emergem como uma alternativa eficaz para superar essas barreiras. Eles oferecem a capacidade de monitoramento em tempo real, permitindo a avaliação do estado das estruturas mesmo durante condições climáticas adversas. Além disso, durante esses períodos críticos, é fundamental verificar a integridade das barragens e determinar se são necessárias intervenções.

Dessa forma, o uso de drones não só possibilita a vigilância contínua das barragens, mas também auxilia na detecção precoce de potenciais problemas, contribuindo à integridade estrutural, à segurança das comunidades locais e à preservação ambiental.

A habilidade de acessar áreas de difícil alcance representa uma das principais vantagens da aplicação de drones em inspeções de barragens. Para avaliar essa qualidade, é de suma importância considerar a extensão das áreas que podem ser abrangidas, a precisão na navegação em terrenos desafiadores e a capacidade de alcançar locais de difícil acesso para inspeção visual. O uso de implementos aplicáveis e a implementação de técnicas avançadas, como o mapeamento 3D e o uso de sensores de alta precisão, contribuem significativamente para quantificar e otimizar a eficácia do monitoramento em regiões isoladas e de difícil acesso.

### **2.2 Legislação e Tecnologia**

A inspeção de segurança de barragens de terra é um aspecto crucial da gestão de recursos hídricos e a Agência Nacional de Águas (ANA) desempenha um papel vital nesse processo de fiscalizar e colaborar no cumprimento das normativas estabelecidas na “Política Nacional de Segurança de Barragens destinadas à acumulação de água para quaisquer usos, à disposição final ou temporária de rejeitos e à acumulação de resíduos industriais, cria o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens e altera a redação do art. 35 da Lei no 9.433, de 8 de janeiro de 1997, e do art. 4o da Lei no 9.984, de 17 de julho de 2000.” (Lei Nº 12.334, DE 20 DE SETEMBRO DE 2010.).

Visando em uma melhoria no cumprimento desta política referente à utilização de tecnologias avançadas. O uso de sensores remotos, sistemas de informação geográfica, e vistorias com drones, têm permitido a realização de inspeções remotas, com otimização de mão de obra disponível aos órgãos fiscalizadores. Essas tecnologias também fornecem informações importantes e em tempo real sobre alguns aspectos das barragens, favorecendo o diagnóstico de suas condições, permitindo melhores avaliações, o que é essencial para a prevenção de acidentes e consequentes impactos ambientais. O aspecto legal da inspeção de segurança também inclui a implementação de políticas e regulamentos que promovem a manutenção e o melhoramento contínuo das estruturas das barragens em suporte às obrigações legais e regulatórias dos órgãos fiscalizadores de barragens.

A integração entre legislação e tecnologia têm se destacado no contexto da Indústria 4.0 e se apresenta como alternativa à otimização da mão de obra disponível à fiscalização, especialmente no uso de drones para vistoria em barragens remotas. No âmbito legal, que estabelece a PNSB, Lei federal Nº12.334 de 20 de setembro de 2010, as normativas estabelecem requisitos rigorosos para garantir a segurança e a conformidade das barragens com padrões de engenharia demandados pela PNSB:

Art. 1º Esta Lei estabelece a Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB) e cria o Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens (SNISB)

(...)

Art. 3º São objetivos da Política Nacional de Segurança de Barragens (PNSB):

I - garantir a observância de padrões de segurança de barragens de maneira a fomentar a prevenção e a reduzir a possibilidade de acidente ou desastre e suas consequências;

(...)

IV - criar condições para que se amplie o universo de controle de barragens pelo poder público, com base na fiscalização, orientação e correção das ações de segurança;

Portanto, a combinação entre legislação e tecnologia na utilização de drones para vistoria em barragens representa uma abordagem proativa e moderna para garantir a segurança e a integridade dessas estruturas vitais para a sociedade e o meio ambiente.

Com o avanço da tecnologia, dada a escassez de mão de obra técnica da administração pública, espera-se que o uso de drones se torne cada vez mais prevalente, auxiliando os órgãos reguladores no controle da segurança das barragens e em conformidade com as normas legais vigentes.

## 2.3 Drone e equipamentos

A ANAC (2017), Agência Nacional de Aviação Civil, define drones como "veículos aéreos não tripulados, controlados remotamente por pilotos em solo ou por sistemas automatizados, que podem ser utilizados em diversas aplicações, incluindo mapeamento, inspeções, vigilância, monitoramento, entre outras." Essa definição é estabelecida conforme as normativas e regulamentações da aviação civil no Brasil visando regulamentar o uso seguro e responsável desses dispositivos.

Os drones possuem a capacidade de adquirir imagens precisas e detalhadas da barragem e de seus arredores, permitindo uma avaliação visual local das condições estruturais, danos potenciais e aspectos ambientais. Além da captura de imagens estáticas, esses dispositivos têm a capacidade de gravar vídeos em alta definição, proporcionando uma visão dinâmica da barragem e facilitando a detecção de possíveis problemas. Por meio da técnica de fotogrametria, os drones podem gerar modelos tridimensionais da barragem, fornecendo uma representação detalhada de sua geometria e topografia e, por meio da elaboração de modelos de inteligência artificial, pode realizar comparações com as inspeções anteriores. Abaixo seguem exemplificados alguns conceitos simplificados para a detecção de características que podem ser observadas em tais modelos:



*Imagem 2: Imagem realizada pelo drone, em vistoria, verificando existência de patologias no talude como erosões, e possibilidade da ocorrência de ruptura em cascada.*



*Imagem 4: Vistoria com drone possibilidade de identificar umidade na região a jusante da barragem e presença de vegetações nos taludes.*

Certos drones podem ser equipados com câmeras termográficas (imagem 05), que são capazes de detectar variações de temperatura na superfície da barragem. Essa funcionalidade auxilia na identificação de anomalias térmicas potencialmente associadas a vazamentos, sendo possível correlacioná-las com modos de falhas estruturais, como “*piping*”, por exemplo. Podendo ser equipados com sensores instalados na estrutura que coletam dados sobre a umidade do solo, níveis de água, vazão infiltrada, qualidade da água e outros parâmetros relevantes à segurança da barragem considerados gatilhos aos modos de falha aos quais a estrutura está susceptível, desde que avaliados previamente por profissionais especializados e conhecedores do projeto de engenharia implantado.

Além dos drones, outros equipamentos auxiliares podem complementar as informações coletadas durante a vistoria de barragens, tais como:

- Estações meteorológicas, as quais monitoram as condições climáticas locais, fornecendo dados adicionais para análise e avaliação de riscos.
- Sistemas de posicionamento global (GPS) devidamente referenciados em solo, que permitem a localização precisa das imagens e dos dados coletados pelos drones, facilitando a análise espacial das informações.
- Instrumentação de monitoramento estrutural, incluindo sensores como medidores de vazão, extensômetros, piezômetros e acelerômetros, dentre outros, instalados na própria barragem. Esses sensores complementam as informações obtidas pelos drones, fornecendo informações relevantes que podem ser empregadas na análise do comportamento estrutural da barragem.

Portanto, a combinação de drones com equipamentos auxiliares proporciona uma abordagem abrangente e multifacetada para a vistoria de barragens, permitindo uma avaliação de segurança e integridade da estrutura adequada ao ofício de fiscalização das barragens que, complementadas pelas responsabilidades legais e regulatórias dos empreendedores das barragens, portarão o grau de confiabilidade destas estruturas demandados pela sociedade brasileira.





Imagem 5: Drone DJI Mavic 2 Pro + Smart Controller Fonte: [01]

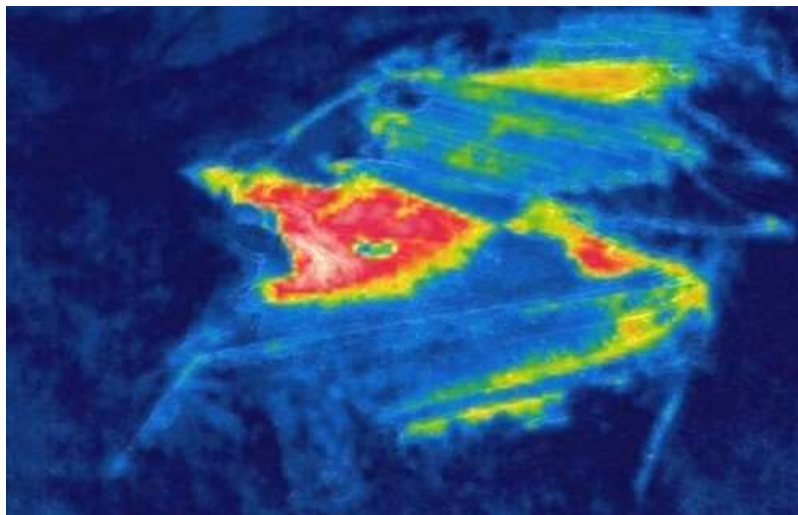


Imagem 6: Imagem da barragem obtida com a câmera termal do drone. Fonte: ANM/Divulgação.

## 2.4 Metodologia e Completude de Danos Obtidos:

A precisão na identificação e quantificação de danos em barragens é vital para garantir a sua segurança estrutural. Técnicas de processamento de imagem, inteligência artificial e aprendizado de máquina são exploradas como maneiras de melhorar a capacidade dos drones em detectar danos, avaliar sua extensão e classificar sua severidade. Discussões incluem a implementação de algoritmos avançados e sensores especializados para aprimorar a completude na detecção de danos, minimizando assim o risco de falhas nas inspeções de campo a serem realizadas pelos empreendedores. .

A eficiência temporal do uso do equipamento desempenha um papel crucial na avaliação da qualidade de uma inspeção por drone em barragens. Estratégias de planejamento de voo, otimização de trajetórias e o uso de tecnologias autônomas são discutidos como formas de reduzir o tempo necessário para concluir uma inspeção. Considerações sobre a autonomia da bateria, velocidade de deslocamento e a integração de sistemas de automação são abordadas para garantir uma inspeção rápida, completa e eficiente.

A qualidade da vistoria é o objetivo central, e para alcançá-la, é essencial integrar todas as técnicas discutidas anteriormente, mantendo-se fiel às premissas técnicas estabelecidas no projeto da barragem. A implementação de um sistema abrangente que considera acesso, completude na detecção de danos e eficiência temporal resultará em inspeções mais confiáveis e com detalhamento adequado às ações de fiscalização. Estratégias de validação e monitoramento contínuo são também abordadas como formas de assegurar a consistência e aprimorar constantemente a qualidade das inspeções.



Imagem 7: Fluxograma de trabalho. Autora

## 2.5 Estudo de caso:

Em um estudo de caso realizado no Estado do Mato Grosso do Sul, estado que possui 2.147 barragens cadastradas de acordo com o Sistema Nacional de Informação sobre Segurança de Barragem, foram conduzidas 25 vistorias in loco no ano de 2022. Dessas, devido à limitação de mão de obra técnica disponível, apenas 18 estruturas permitiram a realização de uma inspeção completa. Uma destas barragens já estava rompida no momento da vistoria, enquanto cinco apresentavam vegetação generalizada, impossibilitando a correta inspeção de campo pela impossibilidade de acesso à determinadas estruturas. Uma destas barragens não possuía acesso terrestre. Estes argumentos evidenciam uma baixa taxa de realização e efetividade das inspeções em comparação com a totalidade das barragens sob responsabilidade do Estado, indicando uma lacuna significativa na supervisão adequada.

A ausência do emprego de drones nessas inspeções resultou na falta de inspeção adequada em 28% das barragens analisadas. Esse cenário ressalta a necessidade de



aprimoramento na abordagem de supervisão das barragens onde o uso de drones se apresenta como uma relevante uma opção as tratativas de aumento na quantidade e qualidade de vistorias. Como consequência, espera-se aumento considerável na efetividade inspeções de barragens vinculadas às ações de fiscalização..

Como estudo de caso prático adotou-se explorar uma inspeção realizada pelo Instituto de Meio Ambiente de Mato Grosso do Sul (IMASUL) em uma propriedade onde está situada uma barragem enquadrada na PNSB.

O arranjo estudado apresenta um complexo formado por três barragens em cascata onde foi empregada a tecnologia de drone para viabilizar a inspeção no tempo e disponibilidade de pessoal, resultando em substancial coleta de dados acerca das estruturas e potenciais conciliações de informações e análises correlatas.

Primeiramente, realizou-se levantamento da condição via satélite, com o intuito de confirmar a integridade das barragens, identificando algum ponto em campo para auxílio no referenciamento de campo do levantamento, assegurando-se da compatibilidade dos dados apresentados e elaborando um plano de voo para otimização temporal, além de identificar os aspectos técnicos críticos do projeto complementado pela inspeção presencial.

Na fase inicial de aquisição de dados pré-inspeção, foi possível observar (imagem 8) uma discrepância entre a coordenada de eixo fornecida pelo empreendedor e o eixo efetivo da barragem. Posteriormente (imagem 9), foi apresentado um esboço pelo empreendedor, delineando as barragens enquanto a observação via satélite revelou, de forma inconfundível (imagem10) patologias de campo por meio do uso do índice NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), muito utilizado para identificação remota de áreas com a presença de vegetação. Com a variação da infravermelho também é possível verificar calor em áreas de acúmulo de água, propiciando elementos mínimos necessários para verificar a presença de um ponto de armazenamento de água no entorno da estrutura da barragem não declarado previamente, gerando dúvidas se a origem seria de uma barragem ou outro foco qualquer.

Com base nos dados colhidos na primeira etapa, foi possível planejar a atividade de campo e, numa segunda fase, foi realizada a vistoria in loco com a equipe do órgão fiscalizador acompanhado pelo empreendedor onde foi realizado o voo do Drone, conforme imagens 03 e 04 Durante. Nesta etapa ocorreu a validação das estruturas das barragens, ratificando sua conformidade técnica e regulatória.

Dentre as observações relevantes, destaca-se a configuração da barragem principal, na qual se identificou a presença de um acesso intermediário representado por uma ponte com duas barragens laterais, arranjo propício ao efeito de ruptura em cascata envolvendo também e uma terceira barragem mais a distante.

Durante a realização da inspeção de segurança também foi possível constatar os seguintes aspectos técnicos adicionais:

1. Verificou-se que o talude de montante não possuía rip-rap e apresentava alguns pontos com erosão, afundamento, árvores, sinais de formigueiros e tocas.

2. O talude de jusante possui árvores, erosões, afundamentos e foi identificada área úmida com aparente fuga de água.

3. O coroamento possui revestimento de grama e permite a passagem de veículos, nesta região foram identificadas erosões e afundamentos. Nas ombreiras foram verificadas vegetações de porte inapropriado.

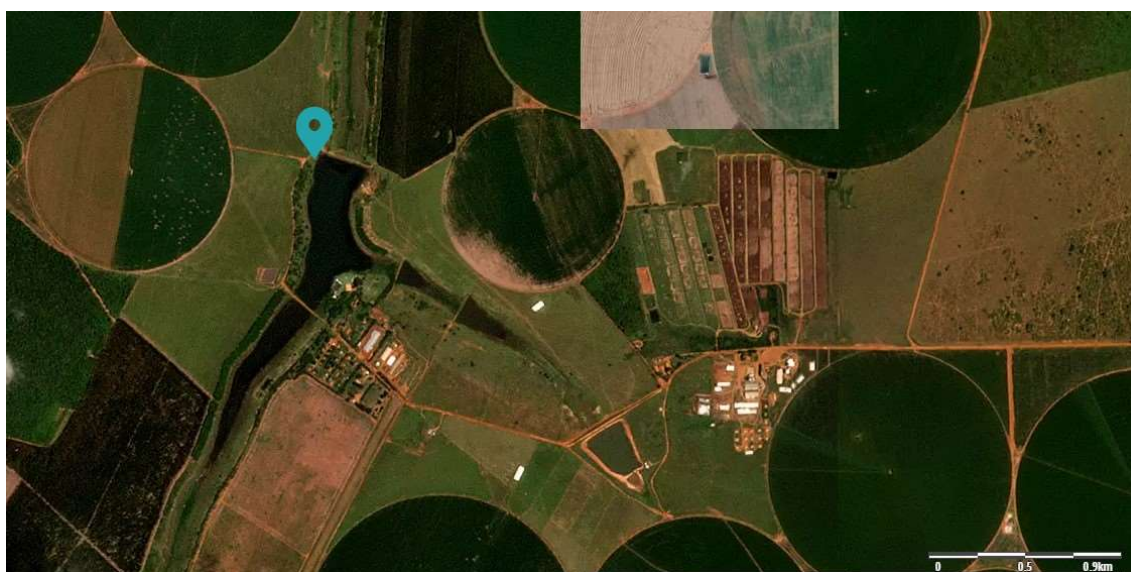
4. A região a jusante da barragem apresenta vegetação generalizada, área úmidas indicando possível existência de fuga d'água.

5. Existe uma pequena área com presença de erosões nas margens do reservatório, também foi verificada a existência de vegetação aquática na região das ombreiras.

6. Existem 2 estruturas extravasoras: 1 do tipo bueiro; 1 vertedor de soleira, ambos obstruídos com vegetação.

7. Não foram encontradas instrumentações.

Na terceira e quarta etapa foi elaborado o relatório e o Laudo de Constatação e Notificação do empreendedor exigindo ações de manutenção da barragem necessárias para que as anomalias verificadas no estudo de caso não afetem os modos de falha destas estruturas previamente observados por técnicos capacitados na etapa de planejamento da atividade.



*Imagem 8: Imagem satélite das barragens, verificado a coordenada de eixo, fonte: Satélite Google.*

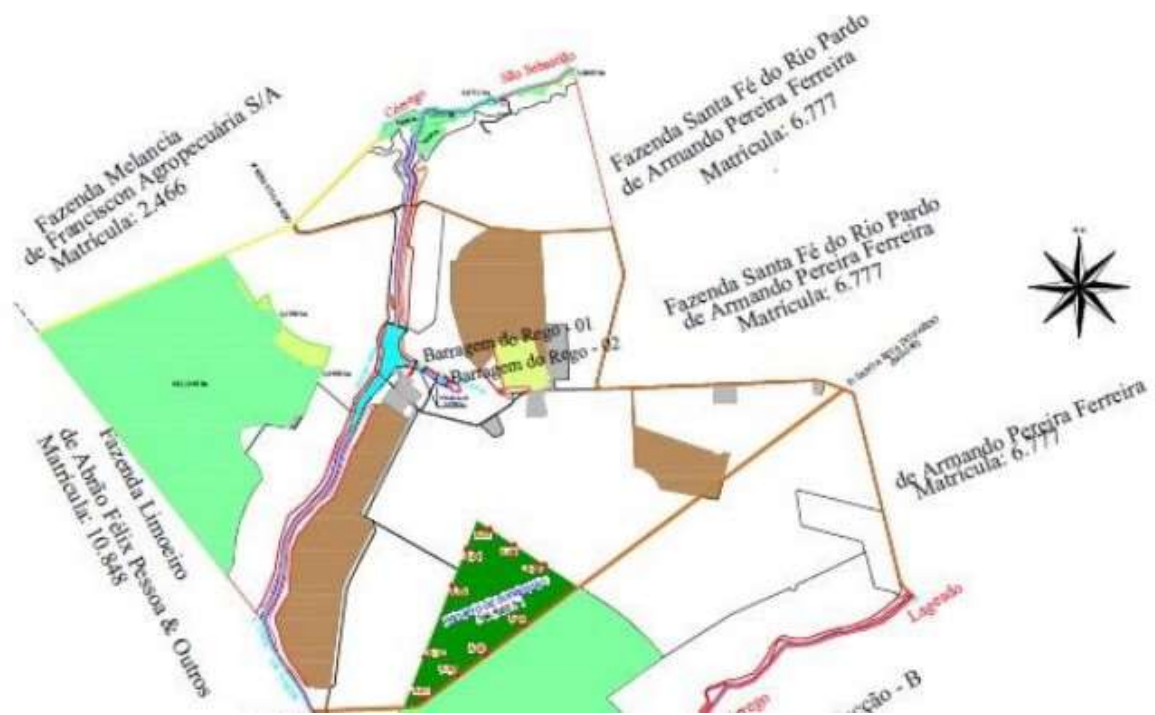


Imagem 9: Croqui apresentado pelo Empreendedor.



Imagem 10: Imagens satélite com NDVI, para verificar pontos de armazenagem de água. Autora 2024





*Imagem 11: Equipe em campo vistoria com drone. Autor 2024*



*Imagem 12: Vistoria com drone, verificando as três barragens, efeito cascata e a barragem maior.*

### **3. CONCLUSÃO**

Diante das análises realizadas neste estudo, foi possível concluir que a utilização de drones para inspeção de barragens, especialmente em regiões de difícil acesso como o Estado do Mato Grosso do Sul, apresenta uma solução viável para superar os desafios de poucos técnicos e logísticos dos órgãos fiscalizadores e propiciar ações mínimas visando garantir a segurança estrutural das barragens fiscalizadas. A integração de tecnologias avançadas, como mapeamento 3D e sensores especializados, tem demonstrado ser fundamental à realização de inspeções detalhadas e precisas, possibilitando uma avaliação abrangente das condições das barragens sob a jurisdição do órgão fiscalizador.

A combinação entre legislação e avanço na indústria 4.0, aliada ao uso de drones, tem contribuído significativamente para aprimorar a gestão e a segurança das barragens, permitindo uma identificação precoce de potenciais problemas e a implementação de medidas corretivas de forma eficaz mesmo quando houver limitação de pessoal dedicado à fiscalização de barragens nos órgãos fiscalizadores. No entanto, é importante ressaltar a necessidade de ampliar a

utilização dessas tecnologias para garantir uma supervisão minimamente adequada às barragens, a fim de mitigar os riscos e garantir a integridade dessas estruturas vitais para a sociedade e o meio ambiente, funções essenciais da fiscalização de barragens.

Portanto, para validar as vantagens e a qualidade do processo, é essencial assegurar a confiabilidade dos resultados, seguindo as diretrizes citadas, com foco em áreas planejamento e conhecimento do drone que será utilizado na isenção, não apenas melhora a qualidade das vistorias, mas também promove a segurança e uma vistoria bem-sucedida na barragem. Conforme mostrado no estudo de caso, foi possível levantar informações pertinente a vistoria, antes, de sair para campo, assim otimizando o trabalho a ser realizado in loco, confirmando as informações e levantando dados pertinente a segurança no dia da realização, da vitória e podendo ter um resultado quanto a segurança podendo cobrar melhorias do empreendedor.

O avanço da indústria 4.0 aplicável às práticas de fiscalização se apresenta como uma atividade inovadora e, conforme apresentado no presente artigo, pode ser uma importante ferramenta para resolver um problema crítico da fiscalização de barragens ressaltado nos relatórios de segurança de barragens publicados no SNISB, a limitação de técnicos dedicados à fiscalização de barragens.

Porém, para dar continuidade ao avanço destas tratativas de uso de drones em fiscalização, torna-se necessário desenvolver ferramentas de inteligência artificial que integre os conceitos básicos de segurança de barragens às ferramentas de georreferenciamento e também às características do projeto de cada barragem fiscalizada, esse assunto se apresenta como uma promissora linha de pesquisa e desenvolvimento para estudos futuros sobre o tema.

#### **4. PALAVRAS-CHAVE**

Drone, Barragem, Segurança, Inspeção, Tecnologia e Legislação

#### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

[1] JER Drones disponível em: <https://www.jerdrones.com.br>

[2] ANA (2016) – “Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Manual do Empreendedor. Volume II - Guia de Orientação e Formulários para Inspeções de Segurança de Barragem”. Brasília – DF.

[3] ANAC. Agência Nacional de Aviação Civil. Brasil. Disponível em: <https://www.gov.br/anac/pt-br/assuntos/drones>. Acesso em junho de 2023.

[4] BRASIL(2010) - Lei Federal 12.334/2010, de 20 de Setembro de 2010. Presidência da República. Casa Civil - Subchefia para Assuntos Jurídicos. Brasília - DF.

[5] MATIAS, G. “O que é um drone?” Disponível em: <https://pt.linkedin.com/pulse/oque-%C3%A9-um-drone-gon%C3%A7alo-matias>. Acesso em junho de 2023

[6] ANM. Agência Nacional de Mineração, resolução 123 Para levantamentos aéreos em área de mineração Disponível em: <https://www.in.gov.br/web/dou/-/resolucao-anm-n-123-de-1-de-dezembro-de-2022-447337784>

[7] Marques, E, Instituto do Meio Ambiente do Mato Grosso do Sul (2023) “Segurança em Barragens de Terra, orientações Gerais e Práticas Recomendadas”, Disponível em: <https://www.imasul.ms.gov.br/wp-content/uploads/2023/10/Seguranca-em-Barragens-de-Terra.pdf>

[8] SNISB, Sistema Nacional de Informações sobre Segurança de Barragens Disponível em: <https://www.snisb.gov.br/portal-snisb/consultar-barragem>

[9] SCHWAB, Klaus. A quarta revolução industrial, 1ª edição. São Paulo, SP: Edipro, 16 2016. SDCl. Secretaria de Desenvolvimento e Competitividade Industrial. Estudo Sobre a Indústria Brasileira e Europeia de Veículos Aéreos Não Tripulados. Disponível em: [http://www.sectordialogues.org/sites/default/files/publicacao\\_drones-20161130-20012017web.pdf](http://www.sectordialogues.org/sites/default/files/publicacao_drones-20161130-20012017web.pdf)

[10] DRATH, R.; HORCH, A. Industrie 4.0: Hit or Hype? IEEE industrial electronics magazine, p. 56-58, 2014

[11] GEBHARDT, J.; GRIMM, A.; NEUGEBAUER, L. M. Developments 4.0 Prospects on future requirements and impacts on work and vocational education. Journal of Technical Education, p. 117-133, 2015

[12] MATA, V. S.; COSTA, C. H. O.; FERNANDES, D. C.; SILVA, E. O.; CARDOSO, F. A.; ANDRADE, J. C.; REZENDE, L. P. L.; OLIVEIRA, M. F.; SOUZA, N.; MACHADO, P. E. V.; RODRIGUES, R. P. M. Indústria 4.0: a Revolução 4.0 e o Impacto na Mão de Obra. Revista de Ciências Exatas e Tecnologia, v. 13, n.13, p. 17-22, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.17921/1890-1793.2018v13n13p17-22>. Acesso em: 12 maio 2019

[13] HARRISON, R.; VERA, D.; AHMAD, B. Engineering Methods and Tools for Cyber-Physical Automation Systems. Proceedings of the IEEE, v. 104, n. 5, p.973-985, 2016. DOI: 10.1109/JPROC.2015.2510665

[14] LEI Nº 12.334, DE 20 DE SETEMBRO DE 2010. Disponível em [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2007-2010/2010/Lei/L12334.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Lei/L12334.htm)