PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE GOIÁS
ESCOLA POLITÉCNICA E DE ARTES
ENG 1092 - TRABALHO FINAL DE CURSO II

"AVALIAÇÃO DE TECNOLOGIAS DE MONITORAMENTO ESTRUTURAL EM OBRAS DE GRANDE PORTE"

Autor: Gabriel Fonseca de Freitas – Matrícula: 2023.1.0025.0061-4

Orientador: Prof. Paulo José Mascarenhas Roriz, Me.

RESUMO: O monitoramento estrutural de obras de grande porte é um campo que tem evoluído significativamente, ao longo das últimas décadas, impulsionado tanto pelos avanços tecnológicos quanto pela crescente demanda por infraestruturas seguras e resilientes. Historicamente, a capacidade de monitorar e analisar a integridade estrutural era limitada pelas tecnologias disponíveis, muitas vezes restringindo-se a inspeções visuais e instrumentação básica. No entanto, com o advento de tecnologias inovadoras, como sensores de fibra óptica e drones equipados com câmeras de alta resolução, o campo do monitoramento estrutural tem testemunhado uma verdadeira revolução. Estas tecnologias não apenas aumentam a precisão e a eficiência do monitoramento, mas, também, permitem uma resposta mais rápida a potenciais problemas, garantindo, assim, a segurança e a longevidade das estruturas. A escolha deste tema reflete a importância de se compreender e aplicar essas tecnologias avançadas, no contexto brasileiro, especialmente em obras de grande porte, que são vitais para o desenvolvimento econômico e social do país.

Palavras-chave: monitoramento, segurança, obras de grande porte, análise estrutural, custo, precisão, viabilidade.

***ABSTRACT**: Structural monitoring of large-scale works is a field that has evolved significantly over the last few decades, driven both by technological advances and by the growing demand for safe and resilient infrastructures. Historically, the ability to monitor and analyze structural integrity was limited by available technologies, often being restricted to visual inspections and basic instrumentation. However, with the advent of innovative technologies such as fiber optic sensors and drones equipped with high-resolution cameras, the field of structural monitoring has witnessed a real revolution. These technologies not only increase the accuracy and efficiency of monitoring but also allow for a faster response to potential problems, thus ensuring the safety and longevity of structures. The choice of this theme reflects the importance of understanding and applying these advanced technologies in the Brazilian context, especially in large-scale works, which are vital for the country's economic and social development.*

***Keywords**: monitoring, safety, large works, structural analysis, cost, accuracy, feasibility.*

1. INTRODUÇÃO

Obras de grande porte são projetos de construção ou engenharia civil de grande escala e complexidade, que envolvem a mobilização de vastos recursos, tempo prolongado de execução e um elevado nível de especialização técnica. Essas obras são normalmente fundamentais para o desenvolvimento econômico e social de uma região e, muitas vezes, têm um impacto significativo nas infraestruturas, no ambiente e nas comunidades.

As obras de grande porte são caracterizadas, Feldmann (2010), pelo seu tamanho físico considerável, o que pode incluir vastas áreas de terreno, grandes volumes de construção, ou extensas infraestruturas lineares (como rodovias ou ferrovias). Exigem grandes investimentos financeiros devido à quantidade empregada de materiais, equipamentos, mão de obra especializada e tecnologia avançada. Muitas dessas obras são financiadas por governos, grandes empresas ou consórcios internacionais.

Geralmente, as obras de grande porte requerem anos para serem concluídas e, segundo o mesmo autor, muitas vezes envolvem várias fases, desde o planejamento inicial até a construção e operação final. São projetos altamente complexos, tanto em termos de engenharia quanto de logística. Envolvem múltiplas disciplinas, tais como engenharia civil, elétrica, hidráulica, mecânica, ambiental, entre outras. Estas obras têm impacto direto no ambiente, na economia e na sociedade, podendo alterar paisagens urbanas ou naturais, além de melhorar (ou às vezes dificultar) a qualidade de vida das populações locais.

Exemplos de Obras de Grande Porte:

- Rodovias e Autoestradas: Estas obras são cruciais para melhorar a mobilidade, reduzir o tempo de viagem e impulsionar o comércio inter-regional.
- Barragens: Obras de grande porte que, neste contexto, são essenciais para a geração de energia hidrelétrica, abastecimento de água e controle de inundações.
- Aeroportos: A construção de aeroportos de grande porte requer uma coordenação complexa de recursos, para atender à demanda do transporte aéreo em larga escala.
- Pontes e Viadutos: Estas obras ligam regiões que, de outra forma, estariam separadas por rios ou terrenos difíceis, facilitando a circulação de pessoas e bens.

- Túneis: A construção de túneis envolve técnicas avançadas de escavação, arrimo e estabilização de maciços, e requer constante monitoramento, devido aos riscos geológicos.
- Centrais Energéticas: Estas obras são essenciais para a produção de energia elétrica em larga escala, exigindo rigorosos critérios de segurança e eficiência.

A avaliação de tecnologias de monitoramento estrutural constitui um campo de estudo fundamental para a garantia da segurança e eficácia das obras de grande porte. O campo de estudo mencionado trata da análise e uso de tecnologias avançadas, para o monitoramento de grandes construções. De acordo com Cheng (2018), esse campo de estudo é essencial para a estanqueidade dessas estruturas no terreno, ao longo do tempo, cuidando especialmente de identificar qualquer sinal indicativo de problema estrutural, antes que o mesmo cresça e se agrave.

O monitoramento contínuo permite a identificação precoce de potenciais problemas estruturais, contribuindo, significativamente, para a prevenção de acidentes e para a extensão da vida útil das estruturas. Nesse contexto, diversas tecnologias têm sido desenvolvidas e aplicadas com sucesso, em nível global, conforme demonstrado por estudos recentes na literatura especializada. (CHENG, HUA PENG, 2018)

Acerca ainda das estruturas de grande porte, estas são construções ou obras de engenharia que possuem dimensões significativas, em termos de altura, comprimento, largura ou volume, geralmente envolvendo desafios técnicos de engenharia de grande complexidade, devido ao seu tamanho, peso ou função. Estas estruturas requerem tecnologias avançadas, tanto para sua concessão quanto para sua construção, além de demandar processos rigorosos de monitoramento.

O colapso de uma obra de grande porte, devido a problemas estruturais, pode causar desastres, como o acidente de Brumadinho que ocorreu em 25 de janeiro de 2019, quando uma barragem de rejeitos da mineradora Vale S.A. se rompeu, na cidade de Brumadinho, no estado de Minas Gerais, Brasil. De acordo com Mansur (2023), a barragem, chamada Barragem I, fazia parte do Complexo Minerário Córrego do Feijão e continha rejeitos de minério de ferro; este rompimento liberou uma onda massiva de lama e rejeitos, que devastou a área abaixo da barragem, incluindo comunidades, áreas rurais e instalações da própria empresa Vale.

Uma avaliação estrutural regular ajuda a prevenir falhas catastróficas, garantindo que os sistemas de segurança estejam operando sem quaisquer problemas e que os materiais e componentes estejam funcionando dentro das especificações das normas brasileiras.

2. REFERENCIAL TÉORICO

A avaliação estrutural periódica de obras de grande porte é crucial para garantir a segurança, durabilidade, eficiência e desempenho dessas estruturas, ao longo do tempo. Dadas a complexidade e as implicações de falhas em grandes projetos de construção, a avaliação regular e contínua torna-se fundamental para prevenir acidentes, otimizar os custos de manutenção e assegurar que a estrutura está a cumprir os seus objetivos de maneira segura e eficiente. (MAGALHÃES, 2017)

Essas construções desempenham papéis fundamentais no desenvolvimento das sociedades modernas, proporcionando infraestruturas vitais para transporte, energia e habitação. A avaliação periódica e o monitoramento constante dessas estruturas de grande porte são essenciais para prolongar sua vida útil.

Essas construções são caracterizadas por serem significativamente maiores do que as estruturas comuns, o que, conforme ensina a mesma autora, traz desafios logísticos e de engenharia únicos, normalmente estão expostas a elementos como vento, chuvas, inundações e até eventos sísmicos, exigindo projetos altamente resistentes. O seu processo de construção envolve uma grande quantidade de recursos (humanos, materiais, tecnológicos), além de técnicas de engenharia avançadas, como a necessidade de uso de guindastes de grande porte e outras máquinas específicas. Devido ao seu tamanho e à função essencial que desempenham (infraestruturas críticas), essas estruturas necessitam de sistemas de monitoramento contínuos, para garantir sua integridade, ao longo do tempo.

Para Cardoso (2015), os desafios de executar uma construção de grande porte incluem:

- (1) O peso elevado, exposição a condições climáticas extremas, e a necessidade de resistência a fatores como vento, tráfego pesado e vibrações;

- (2) Suportar ventos fortes, acomodar peso vertical massivo, e ser projetadas para resistir a abalos sísmicos em algumas regiões;

- (3) Lidar com forças hidrostáticas intensas, e a integridade da estrutura é crucial para evitar catástrofes ambientais e econômicas;

- (4) Exigem infraestruturas robustas, com alta capacidade de acomodar enormes volumes de pessoas e tráfego de aeronaves;

- (5) Demandam extrema segurança estrutural para evitar acidentes graves, com o uso de monitoramento contínuo;

- (6) Requerem planejamento e monitoramento meticuloso devido ao risco de colapso e às difíceis condições de construção subterrânea.

A segurança é a principal razão para realizar avaliações estruturais. Obras de grande porte, como pontes, barragens, arranha-céus, e centrais energéticas, suportam cargas pesadas e estão expostas a fatores ambientais severos. Qualquer falha nessas estruturas pode causar acidentes de grandes proporções, resultando em perdas humanas, materiais e ambientais.

3. PRINCIPAIS TECNOLOGIAS DE MONITORAMENTO ENCONTRADAS

A avaliação estrutural, em concordância com Rodrigues (2004), permite a identificação precoce de defeitos ou deteriorações na estrutura, como fissuras, corrosão, deformações ou instabilidade. Estes problemas podem ser causados por diversos fatores, como:

- Fatores ambientais (vento, sismos, temperaturas extremas);
- Cargas dinâmicas (tráfego intenso, vibrações, mudanças na carga aplicada);
- Material defeituoso ou desgastado.

A detecção precoce de problemas possibilita a adoção de medidas corretivas, antes que o problema se agrave, evitando danos maiores e custos de reparação elevados e garantindo a segurança, durabilidade e eficiência das estruturas ao longo de sua vida útil.

As tecnologias de monitoramento existentes envolvem diversas metodologias que podem ser aplicadas, cada uma com suas particularidades, vantagens e desvantagens. Coube ao presente trabalho relatar as principais tecnologias recomendadas pelos autores teóricos e encontradas no mercado, sempre voltadas para o monitoramento estrutural. Dessa maneira, a seguir, constam algumas dessas metodologias discutidas por Kassimali (2016),

com a finalidade de serem utilizadas na avaliação estrutural de grandes obras, e disponibilizadas no mercado brasileiro:

- *Inspeção Visual*: A inspeção visual é a abordagem mais básica e inicial na avaliação estrutural. Consiste na observação direta da estrutura, para identificar sinais visíveis de danos, deterioração ou falhas;
- *Ensaios Não Destrutivos*: Os métodos de ensaio não destrutivo permitem avaliar as propriedades e condições dos materiais sem danificá-los. Entre os exemplos deles, incluem-se: Ultrassom; Radiografia; Termografia;
- *Monitoramento Estrutural*: O monitoramento estrutural envolve a instalação de sensores e sistemas de medição em tempo real, para avaliar o desempenho da estrutura, ao longo do tempo. Tecnologias como *strain gauges*, acelerômetros e sistemas de medição de deslocamento são comumente usados;
- *Análise de Elementos Finitos (FEA*): A análise de elementos finitos é uma técnica computacional que divide a estrutura em elementos menores e simula o comportamento sob várias condições de carga. Essa metodologia é utilizada para prever tensões, deformações e identificar pontos críticos;
- *Ensaios de Carga*: Os ensaios de carga envolvem a aplicação de cargas controladas à estrutura, para avaliar sua capacidade de suporte e seu comportamento, sob essas condições. Os resultados são comparados com os cálculos teóricos;
- *Análise Dinâmica*: A análise dinâmica avalia como a estrutura reage a cargas dinâmicas, como vento, tráfego e atividades sísmicas. Inclui a identificação de frequências naturais de vibração e os modos de falha;
- *Análise de Estabilidade*: A análise de estabilidade avalia a segurança de estruturas sob diferentes condições de carga, identificando modos de falha potencial, como o colapso progressivo.

Conforme apontado por Fernandes (2016), os *Sensores de Fibra Óptica* representam uma das tecnologias mais promissoras para o monitoramento estrutural, devido à sua alta sensibilidade e capacidade de detecção de deformações, em tempo real. Esse autor destaca que a aplicação desses sensores, em pontes e arranha-céus, tem permitido uma monitoração precisa das condições estruturais, facilitando intervenções preventivas e reduzindo custos de manutenção.

Os *Sensores Geodésicos* são fundamentais para medir e monitorar a integridade estrutural. De acordo com Martins Diego (2019) eles permitem a detecção de movimentos milimétricos, essenciais para a segurança das obras. O uso de sistemas GNSS (*Global Navigation Satellite Systems*), especialmente com técnicas como o RTK (*Real Time Kinematic*), proporciona medições precisas em tempo real, sendo crucial para monitorar deslocamentos e deformações.

Além dos *Sensores Geodésicos*, os *Sensores Geotécnicos* (como medidores de tensão e inclinômetros) são utilizados para monitorar as condições do solo e da estrutura ao redor. Esses dados complementam as informações obtidas pelos outros sensores, oferecendo uma visão mais completa do estado da obra.

O *Radar Interferométrico* é uma tecnologia avançada que permite o monitoramento remoto de estruturas como barragens e pontes. Ele pode detectar movimentos submilimétricos e fornecer dados contínuos sobre deformações, operando sob diversas condições climáticas.

O *Digital Twins* são representações virtuais das estruturas que permitem simular o comportamento dos materiais sob diferentes condições. Essa tecnologia ajuda na previsão de falhas, antes que elas ocorram, otimizando o planejamento e a execução das obras.

Da mesma forma, constata-se a importância dos *Drones Especiais*, equipados com câmeras de alta resolução e sensores, para a inspeção visual aérea de estruturas de difícil acesso. Smith (2021) e Remy & Hameed (2018) demonstram como essa tecnologia pode ser utilizada para inspecionar pontes, identificar fissuras e corrosão, sem a necessidade de montagem de estruturas auxiliares, para o acesso de engenheiros ao local.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste trabalho, buscou-se relatar as tecnologias relacionadas ao monitoramento estrutural e foi necessário, inicialmente, evidenciar a diversidade e a eficácia das tecnologias de monitoramento estrutural disponíveis, sublinhando a importância de sua escolha adequada e implementação, nas obras de grande porte.

A aplicabilidade dessas tecnologias varia de acordo com o tipo de estrutura e as condições específicas de cada obra, exigindo uma análise prévia criteriosa, por parte dos engenheiros responsáveis que optarão por utilizar alguma delas.

4.1. SENSORES

Sensores Ópticos:

Os sensores de fibra óptica funcionam através da transmissão de luz pelo interior de uma fibra de vidro ou plástico. Alterações na estrutura, como deformações, variações de temperatura, vibrações ou outros tipos de tensões, causam mudanças nas propriedades da luz (como fase, intensidade ou comprimento de onda), que podem ser medidas para monitorar a integridade estrutural. Dentre os principais tipos de sensores de fibra óptica usados em monitoramento estrutural, tem-se, segundo Gonçalves (2010):

- *Sensores de Bragg em fibra* (*FBG - Fiber Bragg Grating):* São os mais populares para monitoramento estrutural. Eles funcionam refletindo luz em comprimentos de onda específicos, e mudanças na deformação ou temperatura da estrutura alteram o comprimento de onda refletido.
- *Sensores interferométricos*: Usam interferência de luz para medir deformações e são extremamente sensíveis, embora mais complexos de implementar.
- *Sensores distribuídos* (baseados em espalhamento): Permitem o monitoramento ao longo de comprimentos de fibra muito longos, oferecendo uma visão contínua da integridade estrutural.

Os *Sensores de Fibra Óptica* são altamente precisos e, segundo Gonçalves (2010), usados para detectar pequenas mudanças nas condições estruturais. Algumas vantagens em termos de precisão, incluem:

- *Alta sensibilidade*: Sensores FBG, por exemplo, podem medir deformações na ordem de micrômetros e variações de temperatura com precisão de frações de graus Celsius.
- *Medidas em tempo real*: A resposta é praticamente instantânea, permitindo o monitoramento contínuo e em tempo real da estrutura.
- *Capacidade de multiplexação***:** Vários sensores podem ser instalados em uma única fibra, o que permite medir diferentes parâmetros ao longo da estrutura, sem perda de precisão.

A viabilidade do uso de *Sensores de Fibra Óptica* em monitoramento estrutural é alta, especialmente em grandes projetos de engenharia. Eles são resistentes a ambientes

hostis, imunes a interferências eletromagnéticas e corrosão, podendo operar em altas temperaturas ou submersos. As fibras são leves e flexíveis, ideais para instalação em locais de difícil acesso. Esta tecnologia permite monitorar longas distâncias com uma única fibra, beneficiando grandes infraestruturas. Contudo, a viabilidade depende da complexidade da instalação e da necessidade de equipamentos especializados.

De acordo com Maciel, Mendes e Lopes (2013), o custo inicial do sistema de monitoramento baseado em fibra óptica é relativamente alto comparado aos sensores tradicionais. As fibras ópticas, sensores FBG e instrumentos de leitura óptica (interrogadores) são mais caros que os convencionais. Apesar disso, os *Sensores Ópticos* têm longa vida útil e baixa manutenção, podendo resultar em economia significativa ao longo do tempo, especialmente em projetos de grande escala. A integração com a infraestrutura existente pode gerar custos adicionais, dependendo da complexidade e tamanho da estrutura, incluindo gastos com cabeamento e sistemas de controle.

Sensores Geodésicos:

- Baseados em técnicas de posicionamento, medição de ângulos e distâncias.
- Utilizam tecnologias como GNSS, Estação Total Robótica, Nivelamento Geodésico e LiDAR.
- Ideais para monitorar grandes áreas e detectar deslocamentos em diferentes pontos de uma estrutura.
- Precisão milimétrica a submilimétrica, mas podem ser afetados por condições atmosféricas.

Sensores Geotécnicos:

- Focados na medição de parâmetros do solo e fundações.
- Incluem piezômetros, inclinômetros, extensômetros, células de carga, entre outros.
- Essenciais para monitorar a interação solo-estrutura em grandes obras.
- Alta precisão em medições localizadas, mas requerem instalação cuidadosa e podem ser afetados por degradação ao longo do tempo.

Embora cada tipo de sensor tenha suas vantagens específicas, os *Sensores Ópticos* se destacam pela combinação de alta precisão, versatilidade, durabilidade e capacidade de monitoramento em larga escala. Sua resistência a condições ambientais adversas e a

capacidade de multiplexação os tornam ideais para o monitoramento estrutural de grandes obras de engenharia. No entanto, a escolha final do sensor deve considerar as especificidades de cada projeto, podendo inclusive envolver a integração de diferentes tipos de sensores para uma abordagem mais abrangente e eficaz.

Planilha 1: Análise Comparativa Dos Sensores

CARACTERÍSTICA	SENSOR ÓPTICO	SENSOR GEODÉSICO	SENSOR GEOTÉCNICO
Precisão	Alta (micrômetro)	Alta (milimétrica a submilimétrica)	Alta (frações de milímetro)
Aplicação principal	Monitoramento de deformação e temperatura	Posicionamento e deslocamentos	Solo e fundações
Alcance	Longo (até quilômetros)	Grande área	Localizado
Resistência ambiental	Alta	Moderada (afetado por condições atmosféricas)	Alta
Custo inicial	Alto	Alto	Variável (moderado a alto)
Manutenção	Baixa	Moderada	Baixa a moderada
Complexidade de instalação	Alta	Moderada	Alta
Monitoramento em tempo real	Sim	Sim	Sim
Multiplexação	Sim	Limitada	Limitada

Fonte: Compilaçao feita pelo autor (2024).

Após a análise crítica, o *Sensor Óptico* se destaca como o mais recomendado e completo de todos para o monitoramento de obras de grande porte. A razão para essa escolha foi baseada nos seguintes critérios verificados:

1. Alta precisão: Sensores FBG podem medir deformações na ordem de micrômetros e variações de temperatura com precisão de frações de graus Celsius.

2. Versatilidade: Podem ser usados para medir diversos parâmetros, incluindo deformação, temperatura e vibração.

3. Resistência ambiental: Imunes a interferências eletromagnéticas, corrosão e capazes de operar em ambientes hostis.

4. Capacidade de multiplexação: Vários sensores podem ser instalados em uma única fibra, permitindo medições em múltiplos pontos sem perda de precisão.

5. Monitoramento de longa distância: Podem monitorar estruturas de até quilômetros de extensão com uma única fibra.

6. Durabilidade: Longa vida útil com baixa necessidade de manutenção.

7. Resposta em tempo real: Permite monitoramento contínuo e instantâneo da estrutura.

Embora o custo inicial seja elevado, a longevidade e a baixa manutenção podem resultar em economia significativa a longo prazo, especialmente em projetos de grande escala.

4.2. DRONES

Os Drones, também conhecidos como VANTs (Veículos Aéreos Não Tripulados), funcionam através de uma combinação de *hardware* e *software*. Os Drones combinam tecnologia avançada com versatilidade, sendo uma ferramenta poderosa para superar uma dificuldade de relevo, altura, locomoção ou velocidade. São equipados com câmeras de alta definição, podendo capturar detalhes finos, facilitando a identificação de problemas estruturais. Drones podem ser equipados com sensores térmicos LiDAR e outros dispositivos que oferecem dados precisos sobre a condição da estrutura. Os dados coletados podem ser processados por *software* avançado para gerar modelos 3D e mapas, melhorando a precisão da avaliação.

Sua viabilidade também é alta, visto que as vantagens são valiosas. Drones podem acessar áreas de difícil acesso, como alturas elevadas ou locais isolados, onde a inspeção manual seria perigosa ou impraticável. A capacidade de realizar inspeções rapidamente permite uma avaliação mais frequente das condições estruturais. O uso de Drones minimiza a interrupção das operações em áreas adjacentes, permitindo que as atividades continuem normalmente (LIMA TOMÁS, 2022).

O custo de implementação não é tão alto quanto o das demais tecnologias citadas, sendo um ponto a ser levado em consideração, dependendo da situação. Mas a compra de Drones de qualidade, equipados com câmeras de alta resolução e sensores, pode ser cara. No entanto, seus preços têm diminuído ao longo dos anos, segundo o mesmo autor. A escolha do uso de Drones pode induzir a redução de custos operacionais, tendo em vista que podem reduzir a necessidade de andaimes ou escavações, diminuindo os custos de mão de obra e tempo de trabalho. O monitoramento regular com Drones pode prevenir danos maiores, resultando em economias significativas, em reparos futuros.

5. CONCLUSÃO

A avaliação estrutural de obras de grande porte é uma prática essencial para garantir a integridade, segurança e eficiência dessas construções, ao longo do tempo. Este processo permite a identificação precoce de problemas, a prevenção de falhas catastróficas, a otimização de custos de manutenção e a garantia de que a estrutura cumpre as normas de segurança e desempenho. Sem a avaliação estrutural contínua, o risco de acidentes e falhas aumenta consideravelmente, o que pode ter consequências graves, em termos de segurança pública e de economia.

De acordo com MARCELINO (2008), as principais razões técnicas que justificam a realização da investigação do comportamento estrutural dos elementos das obras de grande porte são:

- **Segurança Pública:** Em obras de grande porte, como pontes, barragens, arranha-céus, e centrais energéticas, que suportam cargas pesadas e estão expostas a fatores ambientais severos.
- **Identificação Precoce de Problemas**: A identificação precoce de defeitos ou deteriorações na estrutura, como fissuras, corrosão, deformações ou instabi-lidade, resulta na economia da manutenção preventiva e no prolongamento da vida da estrutura.
- **Prevenção de Falhas Catastróficas**: Em obras de grande porte, como barragens ou centrais nucleares, as consequências de falhas podem ser catastróficas. A avaliação estrutural regular ajuda a prevenir falhas catastróficas, garantindo que os sistemas de segurança estão em boas condições operacionais e que os materiais e componentes estão a funcionar dentro das suas especificações.
- **Manutenção e Reparações Planejadas:** Uma avaliação estrutural periódica permite que os engenheiros desenvolvam um plano permanente de manutenção preventiva, o que ajuda a prolongar a vida útil da obra.
- **Garantia de Conformidade com Normas e Regulamentos:** A inspeção garante que a obra cumpra todos os requisitos legais e regulamentares, prevenindo problemas legais e assegurando que a estrutura esteja de acordo com os padrões de segurança internacionalmente aceitos.

- **Avaliação Pós-Construção e Durante o Uso:** Visa a garantir que a estrutura esteja a funcionar, conforme fora originalmente projetada.
- **Eficiência e Desempenho a Longo Prazo:** A medição do comportamento estrutural permite verificar se a estrutura está funcionando de forma eficiente.
- **Avaliação de Vida Útil e Renovação:** Com a avaliação contínua, é possível estimar a vida útil remanescente de uma estrutura, o que é essencial para planear futuras renovações ou substituições.
- **Custos de Manutenção Otimizados:** Os gestores podem programar reparações com antecedência, evitando intervenções emergenciais, que são geralmente mais caras. Isso permite a otimização dos recursos financeiros, já que as manutenções preventivas são mais econômicas do que as corretivas.
- **Monitoramento de Fatores Ambientais e Dinâmicos:** É necessário fazer, porque obras de grande porte, muitas vezes, estão sujeitas a condições ambientais e dinâmicas extremas, como terremotos, variações térmicas, ventos fortes e inundações.

A avaliação estrutural de obras de grande porte é um processo crítico que envolve a inspeção, análise e o monitoramento das condições físicas e operacionais de estruturas como pontes, barragens, edifícios altos e plataformas industriais.

Hilgert, Bibiana Barella, (2023) afirmam que a finalidade da avaliação estrutural é garantir a segurança, a durabilidade e o desempenho adequado dessas obras, ao longo do tempo. Para compreender e realizar a avaliação, de forma eficaz, é necessário utilizar uma combinação de teorias de engenharia estrutural com métodos analíticos e tecnologias avançadas.

Segundo os autores consultados nesse trabalho, é preciso um suporte teórico robusto para a avaliação das tecnologias de monitoramento estrutural, destacando sua relevância para a engenharia civil contemporânea. Como foi visto, há muitas alternativas para a escolha de um sistema de monitoramento de obras de grande porte e todas possuem seus pontos fortes e fracos. Conclui-se, portanto, que a escolha de um método dependerá, principalmente, da precisão desejada, da viabilidade de execução e dos custos de implementação orçados. A adoção de uma ou outra tecnologia representa um passo fundamental para o aumento da segurança e eficiência das obras de engenharia de grande porte.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGÁFICAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR 8681: Ações e segurança nas estruturas. Rio de Janeiro, 2003.

CARDOSO, R. Desenvolvimento De Metodologia Para Identificação Modal Automática De Estruturas. Departamento de Engenharia Civil da UFOP. Ouro Preto, 2015.

CHENG, HUA PENG. *Structural Health Monitoring of Large Civil Engineering Structures*, de Hua-Peng Cheng, publicado em 2018.

FELDMANN, P. R. Gestão de Projetos de Infraestrutura: Planejamento e Execução. Editora Atlas (2010).

FÉLIX, C. Monitorização e análise do comportamento de obras de arte. Tese de Doutoramento de Engenharia Civil. Faculdade de Engenharia. Universidade do Porto. 2004.

FERNANDES, C.S. Desenvolvimento de sensores baseados em fibra óptica para monitoramento estrutural. 2016. 80 f. Orientador: João Crisóstomo Weyl Albuquerque Costa; Coorientadora: Maria Thereza Miranda Rocco Giraldi. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) - Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2016. Disponível em: http://repositorio.ufpa.br/jspui/handle/2011/7802.

JACOBY, G. A utilização de drones como ferramenta de inovação no planejamento e controle de obras na construção civil. Rio de Janeiro. Politécnica UFRJ, jul. 2022.

KASSIMALI, A. Análise estrutural. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

LIMA, T. – O Gerenciamento da Tecnologia da Informação: Ferramentas Tecnológicas na Engenharia Civil. Faculdade Pitágoras. 2022.

MARCELINO, J. – Observação do comportamento estrutural de barragens e de pontes. Critérios e métodos. Laboratório nacional de engenharia civil, departamento de geotécnia, Lisboa, Portugal, setembro 2008.

MACIEL, R. S.; MENDES, L. A.C.; LOPES, R. Utilização de sensores à base de fibra óptica visando o monitoramento de grandes estruturas na engenharia civil. Revista de engenharia e tecnologia, Belém. 4, dez. 2013.

MANSUR, R. Quatro anos da tragédia em Brumadinho: 270 mortes, três desaparecidos e nenhuma punição. Belo Horizonte, 25 de janeiro de 2023. Disponível em: https://g1.globo.com/mg/minas-gerais/noticia/2023/01/25/quatro-anos-da-tragedia-em-brumadinho-270-mortes-tres-desaparecidos-e-nenhuma-punicao.ghtml.

MAPPA. Como fazer mapeamento com drone em 4 passos?. Mappa, 16, jan. 2023. Disponível em: https://mappa.ag/blog/mapeamento-com-drone-em-4-passos/.

MAGALHÃES, M. Inspeção termográfica de patologias em estruturas: Estudo de caso, pontes de concreto armado. Centro universitário de Brasília- UNICEUB, 2017.

POLA, G. Drones na construção civil: como usar no mapeamento de áreas. Sienge, 15, set. 2022. Disponível em: https://www.sienge.com.br/blog/drones-na-construcao-civil-como-utilizar-para-o-mapeamento-de-areas/.

RODRIGUES, J. Identificação Modal Estocástica: Métodos de Análise e Aplicações em Estruturas de Engenharia Civil. Lisboa: TPI 35, LNEC, 2005.

TRINDADE, **E. G. B.** conheça as principais aplicações de drones na construção civil. Aplicações de drones na construção civil. Geosense, 16, nov. 2021. Disponível em: https://geosense.net.br/2021/11/16/conheca-as-principais-aplicacoes-de-drones-na-constr-ucao-civil/.

PUC GOIÁS

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE GOIÁS
GABINETE DO REITOR
Av. Universitária, 1069 • Setor Universitário
Caixa Postal 86 • CEP 74605-010
Goiânia • Goiás • Brasil
Fone: (62) 3946 1000
www.pucgoias.edu.br • reitoria@pucgoias.edu.br

RESOLUÇÃO nº 038/2020 – CEPE

ANEXO I

APÊNDICE ao TCC

Termo de autorização de publicação de produção acadêmica

O(A) estudante Gabriel Fonseca de Freitas
do Curso de Engenharia Civil, matrícula 2023100250061-4,
telefone: 62 99927-2306 e-mail gabriel.ff2@gmail.com,
na qualidade de titular dos direitos autorais, em consonância com a Lei nº 9.610/98 (Lei dos Direitos do Autor), autoriza a Pontifícia Universidade Católica de Goiás (PUC Goiás) a disponibilizar o Trabalho de Conclusão de Curso intitulado Avaliação de tecnologias de monitoramento estrutural em obras de grande porte, gratuitamente, sem ressarcimento dos direitos autorais, por 5 (cinco) anos, conforme permissões do documento, em meio eletrônico, na rede mundial de computadores, no formato especificado (Texto(PDF); Imagem (GIF ou JPEG); Som (WAVE, MPEG, AIFF, SND); Vídeo (MPEG, MWV, AVI, QT); outros, específicos da área; para fins de leitura e/ou impressão pela internet, a título de divulgação da produção científica gerada nos cursos de graduação da PUC Goiás.

Goiânia, 17 de Dezembro de 2024.

Assinatura do autor: Gabriel Fonseca.

Nome completo do autor: Gabriel Fonseca de Freitas.

Assinatura do professor–orientador: _____

Nome completo do professor-orientador: _____

Professor: PAULO JOSÉ MASCARENHAS RORIZ – Matrícula 5153