

**TÍTULO: A CONTRIBUIÇÃO DA REALIDADE AUMENTADA NA MANUTENÇÃO  
PREVENTIVA COM SISTEMAS TECNOLÓGICOS  
TRABALHO DE GRADUAÇÃO UNIVERSIDADE SÃO FRANCISCO**

SILVA, Ariane G.<sup>1</sup>  
RODRIGUES, Gabriel A. C.<sup>2</sup>  
BAPTISTA, Cândida M. C.<sup>3</sup>  
Universidade São Francisco  
[ariane.gomes.96@hotmail.com](mailto:ariane.gomes.96@hotmail.com)<sup>1</sup>  
[gabrielknd@hotmail.com](mailto:gabrielknd@hotmail.com)<sup>2</sup>  
[candida.baptista@usf.edu.br](mailto:candida.baptista@usf.edu.br)<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Aluna do Curso de Engenharia Civil, Universidade São Francisco; Campus Bragança Paulista

<sup>2</sup>Aluno do Curso de Engenharia Civil, Universidade São Francisco; Campus Bragança Paulista

<sup>3</sup>Orientadora: M.a. Cândida Maria Costa Baptista, Curso de Engenharia Civil, Universidade São Francisco; Campus Bragança Paulista.

**Resumo.** Este artigo destaca a significativa contribuição da inovação da tecnologia de forma eficiente de pontes. A utilização de sensores oferece monitoramento em tempo real, permitindo a detecção precoce de anomalias estruturais, desgaste e outras condições adversas. Esses dados, quando integrados a um sistema ERP (*Enterprise Resource Planning*), proporcionam uma visão abrangente das operações, permitindo um planejamento estratégico mais eficaz para a manutenção preventiva e a tomada de decisões informadas. A combinação dessas tecnologias não apenas aumenta a segurança e a durabilidade das pontes, mas também otimiza recursos e reduz custos a longo prazo.

**Palavras-chave:** Tecnologia, sensores, segurança.

## **Introdução**

Este artigo tem como objetivo analisar como a tecnologia de realidade aumentada e virtual na construção civil, podem ser empregadas para inspecionar obras, identificar problemas e tomar decisões de forma mais eficiente, podendo ser utilizada por arquitetos, engenheiros, construtores, gerenciadores de obra e pessoas interessadas na área da construção civil. A implantação desse processo foi realizada em duas etapas, sendo a primeira desenvolvida de forma online nos estudos preliminares com a compatibilização dos projetos, e a segunda sendo a confrontação com a obra em tempo real. Esse método possui grande relevância no âmbito social, utilizando o futuro da tecnologia a favor da comunidade, trazendo as visões do conhecimento técnico para uma forma mais simplificada de

interpretação e execução, além disso, traz também, uma melhoria de precisão, redução de riscos e custos para o cliente final.

A engenharia civil é uma das disciplinas mais antigas e desempenhou um papel fundamental na construção de civilizações ao longo da história. Abrange uma ampla gama de disciplinas, incluindo engenharia estrutural, geotécnica, hidráulica, ambiental e de transporte. Desempenha um papel vital na construção e manutenção das cidades modernas e no enfrentamento de desafios globais, como a mudança climática e a urbanização crescente.

A indústria da construção tem sido um dos ramos produtivos que mais vem sofrendo alterações substanciais nos últimos anos. Com a intensificação da competitividade, a globalização dos mercados, a demanda por bens mais modernos, a velocidade com que surgem novas tecnologias, o aumento do grau de exigência dos clientes – sejam eles os usuários finais ou não – e a reduzida disponibilidade de recursos financeiros para a realização de empreendimentos, as empresas se deram conta de que investir em gestão e controle de processos é inevitável, pois sem essa sistemática gerencial os empreendimentos perdem de vista seus principais indicadores: o prazo, o custo, o lucro, o retorno sobre o investimento e o fluxo de caixa. Informação rápida é um insumo que vale ouro. (MATTOS, 2019)

O planejamento da obra é uma das principais ferramentas do gerenciamento, decisivo para priorizar ações, acompanhar o andamento dos serviços, comparar o estágio da obra com a linha de base e tomar providências em tempo hábil quando algum desvio é detectado, tendo assim resultados satisfatórios a fim de evitar futuros retrabalhos.

A utilização da Tecnologia da Informação (TI) possibilita uma gestão mais eficaz ao organizar equipes, materiais e tarefas de forma eficiente, ao mesmo tempo em que melhora a comunicação entre todas as partes envolvidas, sejam pessoas ou empresas. Tudo isso integrado a um único sistema que, claro, para bem funcionar, também deve contar com computadores e servidores capazes de suportar o volume de dados gerados, bem como profissionais capacitados para atender às necessidades de cada empreendimento.

Um sistema ERP (*Enterprise Resource Planning*) é um *software* de gestão empresarial que integra e automatiza uma variedade de processos e funções dentro de uma organização. Os sistemas ERP unificam dados e processos de várias funções e departamentos em uma única plataforma, eliminando a necessidade de sistemas separados para diferentes áreas. Todos os dados são armazenados em um único banco de dados central, o que garante a consistência e a integridade das informações, os usuários têm acesso imediato a dados atualizados, o que facilita a tomada de decisões baseadas em informações em tempo real, eles oferecem ferramentas de geração de relatórios e análises para fornecer informações detalhadas sobre o desempenho da empresa. (ERPEN *et all*, 2021).

A tecnologia que está revolucionando a área da construção civil, é a realidade virtual, que cria ambientes completamente separados do mundo real, geralmente em formato tridimensional, no qual os usuários podem interagir e imergir por meio de dispositivos eletrônicos, como óculos de realidade virtual ou *headsets*. Ela busca proporcionar uma experiência sensorial rica e imersiva, permitindo que as pessoas vivenciem cenários virtuais que parecem reais, mesmo que estejam fisicamente em outro lugar.

Outra tecnologia avançada, é a realidade aumentada que integra elementos virtuais que interagem com o ambiente existente. Para Souza (2019), ela está alterando não apenas a etapa de planejamento e modelagem, mas também o processo de construção em si possibilitando sobrepor elementos, oferecendo a fusão de projetos arquitetônicos virtuais com o local físico da construção, resultando em maior eficiência e precisão, para que o executor possa “ver” de forma mais ampla, o que ao mesmo tempo reduz erros e economiza recursos valiosos, como tempo e dinheiro, como o caso de alterações antes da execução que podem causar um retrabalho.

Além dos benefícios ditos acima, outra utilização da realidade virtual e da realidade aumentada a ser enfocada nesta pesquisa, é a implantação de sistemas para manutenção e inspeções de formas remotas concretizadas a partir da implantação de sensores que monitoram movimentos, como por exemplo, em máquinas de produção, identificando, quantificando e regulando a quantidade de matérias-primas, direções, velocidades, níveis, temperaturas, posições, entre outros.

De acordo com o engenheiro Cravo [s.d.], especialista em automação industrial, vários são os tipos de sensores, cada um com suas funcionalidades, como por exemplo: sensores capacitivos, que identificam os níveis de líquidos e sólidos, muito utilizado em silos, para detectar os níveis de grãos; sensores ultrassônicos, capta os níveis de materiais pó, aplicados em indústrias para enchimento de itens; sensores transdutores lineares, válidos para comunicar desgaste em peças que recebem choques e ou vibrações; sensores indutivos, empregados para detectar materiais metálicos; sensores de fibras ópticas, certifica-se das características de fabricação; entre outros. Cada sensor com suas características, para que assim sejam aplicados de acordo com a necessidade e cada tipo de ambiente.

Um dos fatores mais importantes para que os sensores apresentados tenham eficiência e uma eficácia com excelência, está diretamente ligada ao processo contínuo de manutenção que garante o menor desempenho e custo possível. Vários são esses processos, que podem ser preventivos ou corretivos.

A manutenção preventiva consiste em ações realizadas antecipadamente para evitar a necessidade de reparos. Essas ações são planejadas com antecedência, seguindo critérios técnicos e administrativos com base em dados estáticos ou históricos de manutenção. Além disso, a manutenção preventiva pode ser agendada com base no tempo de operação dos sistemas e equipamentos, considerando parâmetros de confiabilidade e disponibilidade das instalações. Em resumo, a manutenção preventiva é um conjunto de atividades projetadas para prevenir problemas ou falhas nos componentes de máquinas e equipamentos, preservando seu desempenho. (MARTINS, 2008).

Similarmente a manutenção preventiva, há a manutenção preditiva, o qual Nepomuceno (1989) define como uma abordagem avançada que utiliza dados e tecnologia para prever quando equipamentos ou sistemas podem falhar, e assim transmitir alertas, permitindo a realização de reparos ou manutenção preventiva antes que ocorram falhas inesperadas.

Já a manutenção corretiva, vai acontecer a partir do momento em que houver algum tipo de patologia ou mau funcionamento de uma obra. “Manutenção corretiva refere-se à realização das ações de reparo apenas após a falha do equipamento. Podendo ser emergencial, quando realizada imediatamente após a falha, ou programada, quando se planeja a ação para um momento posterior à mesma”. (GREGÓRIO,2018).

Assim como na área médica, os problemas em construções ao qual podem ser comparados, o campo da engenharia também investiga os sintomas, manifestações, origens e causas de defeitos que surgem em edifícios, residências e qualquer outro tipo de construção. Ao abranger todo o espectro de uma estrutura, desde a base até o telhado, há diversas situações em que essas falhas podem aparecer. É responsabilidade do projetista, do engenheiro encarregado da execução e do proprietário final da propriedade assegurar que o projeto seja minuciosamente estudado e que todas as atividades de construção sejam gerenciadas de acordo com as normas brasileiras pertinentes. (SENA *et al*, 2021).

A área da engenharia civil tem avançado com o passar do tempo, o que antes se utilizava das cavernas como abrigo, hoje constrói-se edifícios com 828 metros de altura, fato esse que aponta a necessidade de um bom planejamento e de sistemas de controle para o acompanhamento da obra, trazendo a utilização das novas tecnologias como sistemas ERP, realidade aumentada e a realidade virtual para aprimoramento e renovação na área da construção, tendo como resultados, o domínio de uma boa execução, gestão, visualização de

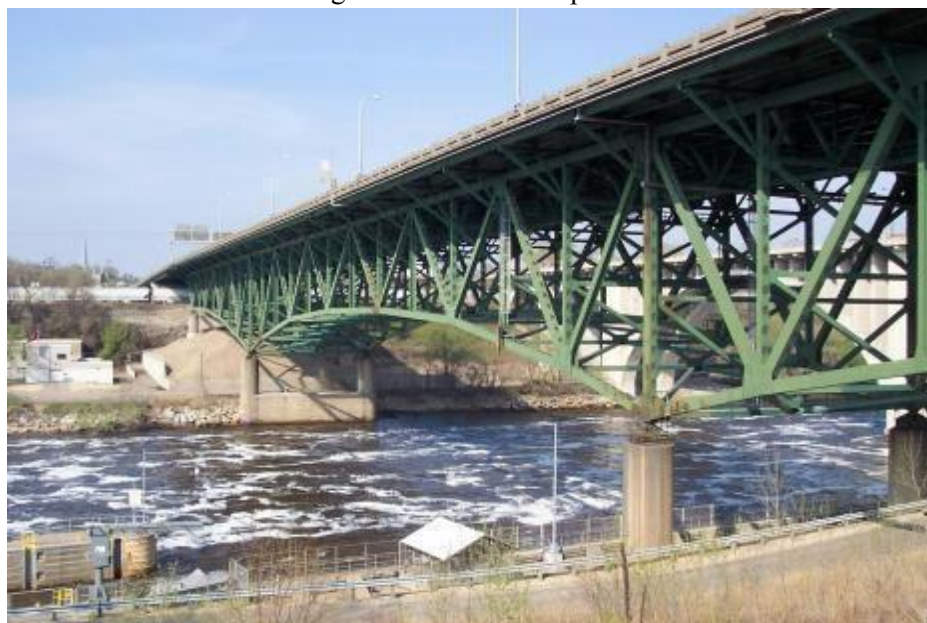
negócios, além de minimizar as alterações, prazos, custos e riscos , possibilitando facilidades para futuras manutenções.

## **Materiais e Métodos**

Para exemplificar a proposta desenvolvida nesta pesquisa, foi utilizado o projeto da ponte I-35W do rio Mississippi, Minnesota, norte dos Estados Unidos, disponível em documentário apresentado no Canal *History* Brasil (2022). Esse incidente foi usado como fonte para ilustrar a criação de um novo sistema a ser utilizado e como poderia ter sido evitada essa ocorrência catastrófica com a utilização de tecnologias mais avançadas.

Com base no documentário citado, a parte visível da ponte era composta por uma série de treliças de aço, sobre a qual o tráfego fluía. Essas treliças eram projetadas para suportar o peso dos veículos e das cargas de tráfego. O tabuleiro da ponte era a parte da estrutura sobre a qual os veículos passavam, feito de concreto armado, onde fornecia a superfície de rolamento e ajudava a distribuir as cargas uniformemente. Além disso, a estrutura da ponte estava apoiada em uma série de pilares, também de concreto, que se estendiam desde o fundo do rio até a superestrutura. A ponte também contava com estaiamento para fornecer suporte adicional, e cabos de aço eram usados para conectar a superestrutura aos pilares e ancorá-los, garantindo estabilidade.

Figura 1: Estrutura da ponte



Fonte: Engenharia civil na net, 2007.

As treliças de aço eram projetadas em um padrão de cruzamento, fornecendo rigidez e estabilidade à estrutura, que criava um design reconhecível, com várias seções cruzando diagonalmente a estrutura, e o concreto desempenhava um papel importante na ponte, não apenas no tabuleiro, mas também nas fundações e na ancoragem dos elementos estruturais. A ponte contava com elementos de acabamento, como corrimões, sinalização e iluminação para garantir a segurança e o funcionamento adequado da estrutura.

A Ponte I-35W Mississippi construída em 1967 era um exemplo de uma ponte de treliça de aço, que é eficaz em termos de suporte de carga e que era comum naquela época e serviu como uma importante via de transporte na região até o trágico colapso em 2007.

Figura 2: Detalhes da seção transversal da estrutura



Fonte: Canal *History Channel*, *Youtube* , 2022.

Conforme informações da BBC Brasil (2007), a ponte, que tinha 40 anos e estava passando por reformas na época, desabou no momento de maior tráfego de veículos, às 18h05 (20h05 pelo horário de Brasília) no dia 1 de agosto de 2007. Na ocasião, carros, caminhões, ônibus e pessoas que transitavam pela ponte caíram no rio, a uma altura de 20 metros. Algumas pessoas também ficaram presas em partes da ponte que não desabaram, e um caminhão pegou fogo.

No momento do acidente, o tráfego estava fluindo lentamente na ponte, e apenas duas das oito pistas estavam disponíveis para a passagem de veículos, enquanto as outras estavam fechadas para reparos. Um ônibus escolar com cerca de 60 crianças a bordo ficou pendurado na ponte e quase caiu, mas as crianças foram resgatadas com segurança e não sofreram ferimentos graves. Além disso, um trem de carga que passava sob a ponte no momento do acidente foi cortado ao meio quando atingido por um bloco de concreto.

Houve um total de 13 pessoas mortas e aproximadamente 145 pessoas feridas. O desabamento súbito da ponte durante a hora do rush teve um impacto devastador, causando perdas significativas de vidas e ferimentos para aqueles que estavam na ponte no momento do colapso. Foi um evento trágico que teve grandes repercussões na infraestrutura e na segurança das pontes em todo o país.

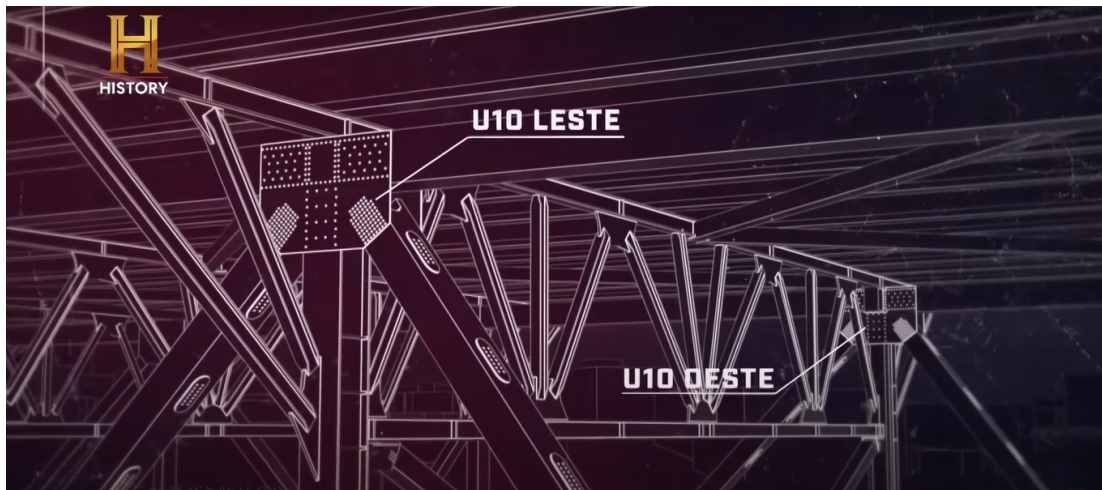
Figura 3: Imagem aérea dos escombros da ponte



Fonte: G1-Globo, 2007.

De acordo com o Canal *History* Brasil (2022), em junho de 2003, 4 anos antes do acidente, os engenheiros fizeram uma inspeção de rotina na ponte e notaram algo perturbador. Em um par de juntas chamadas U10 Leste e U10 Oeste viram que as placas de aço que seguravam a ponte estavam curvadas. As anomalias foram fotografadas, mas sem motivos, foram ignoradas. Uma das justificativas é que se acreditava que as estruturas eram inabaláveis e por norma, como as juntas sempre são mais fortes que a própria viga, a chapa torta poderia ter sido ocasionada na época da construção.

Figura 4: Localização das chapas com anomalias



Fonte: Canal *History Channel*, *Youtube* , 2022.

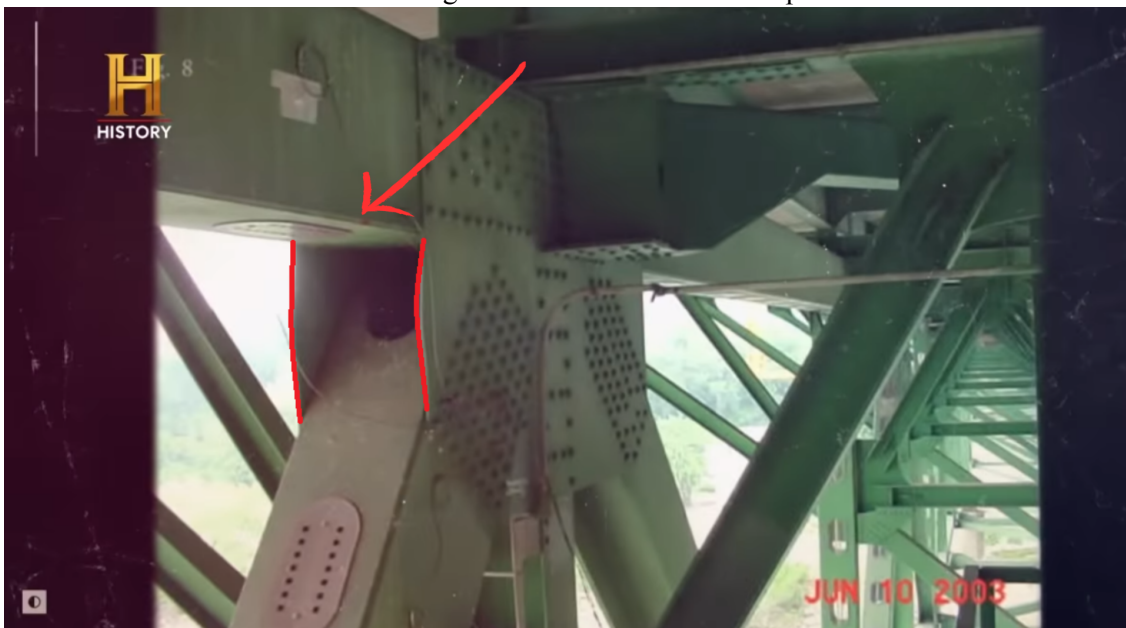
Não sendo somente esse o fator principal para causa do acidente, diversos outros fatores também somaram para o acontecimento da tragédia, como por exemplo o design da ponte. Em uma ponte treliçada, é de costume trabalhar com apenas duas armações de treliças, não considerando um futuro problema e dessa forma, se uma parte essencial falhar, a ponte inteira pode entrar em colapso. Outro fator é que os engenheiros calcularam errado as espessuras de 24 chapas de ferro, onde deveriam ter 3 cm de espessura e tinham apenas 1,5 cm, enfraquecendo toda a integridade da ponte.

Figura 5: Falha no design (duas treliças)



Fonte: Canal *History Channel*, *Youtube* , 2022.

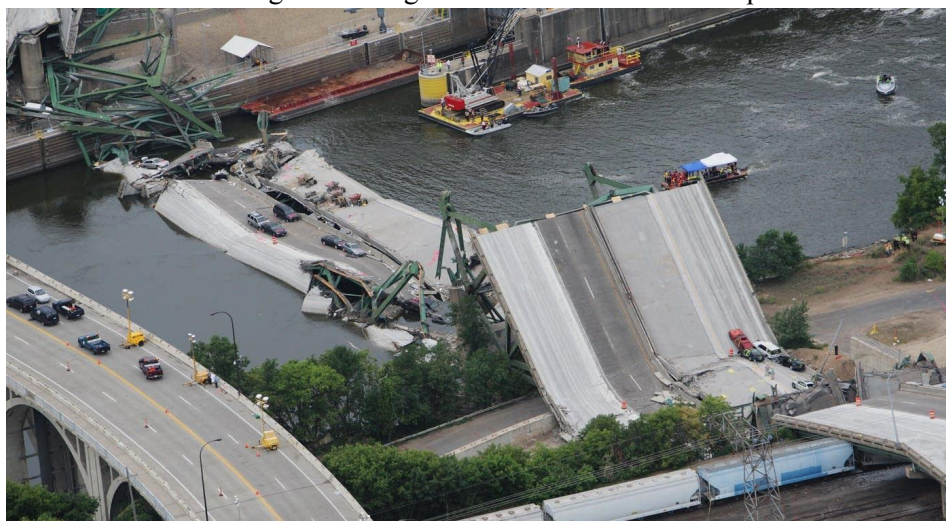
Figura 6: Falha ocorrida na chapa



Fonte: Canal *History Channel*, *Youtube* , 2022.

Ao longo dos 40 anos de construção, houve o desenvolvimento e aumento de tráfego de veículos e pessoas, aumentando a carga recebida pela ponte que já estava sendo comprometida e outra carga extra recebida, foi a instalação de um sistema de degelo que com as baixas temperaturas os carros deslizavam e provocavam acidentes. Para concluir, algumas horas antes do acidente, caminhões descarregaram cascalhos sobre a ponte para realizar uma nova pavimentação e tragicamente, a escolha do lugar foi onde as chapas estavam tortas. Esse conjunto de precedentes trouxe o colapso da Ponte 1-35W.

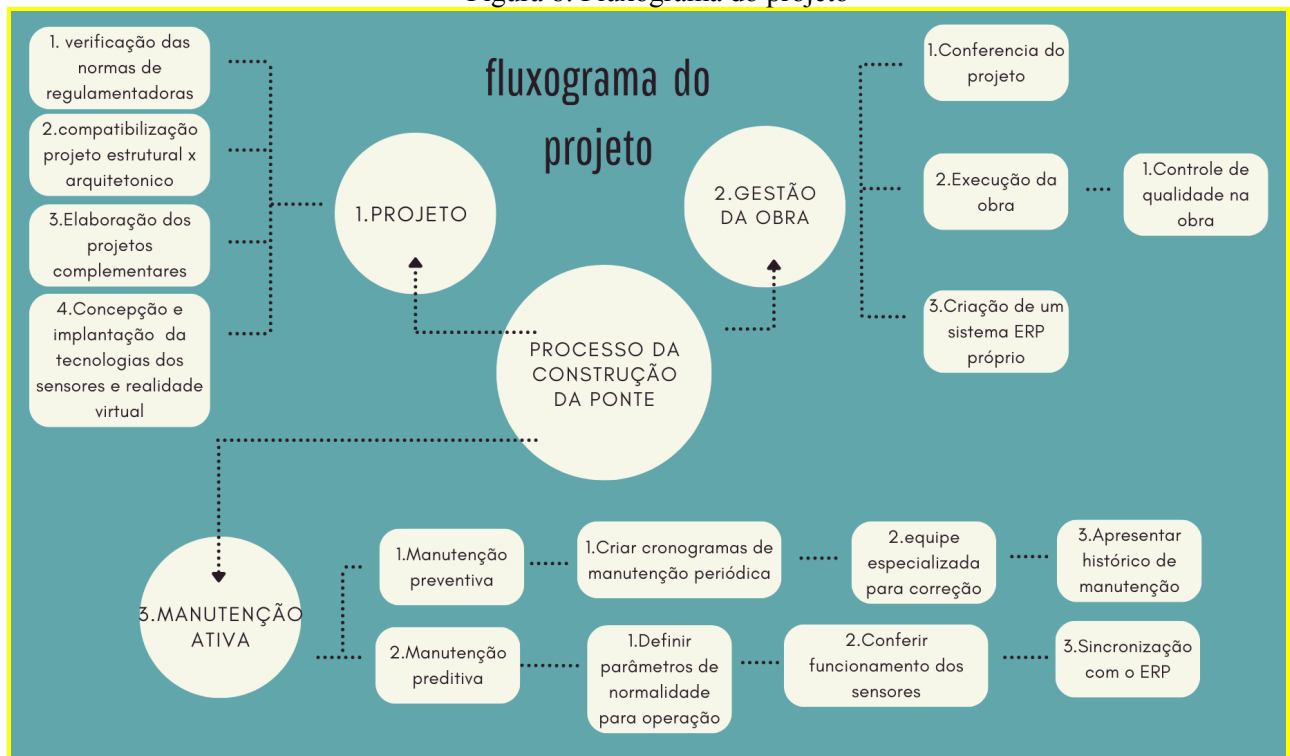
Figura 7: Imagem aérea dos escombros da ponte



Fonte: *MPR News*, 2017.

Baseado em novas tecnologias com sensores de vibrações e relacionando-os à queda da ponte, pode-se evitar esse tipo de acontecimento aderindo a uma sequência de medidas e processos, que trabalhados juntos, garante uma gestão da obra de forma econômica, com organização, segurança e eficácia nos serviços prestados, além de um plano de manutenção mais eficiente e ágil para resolução dos problemas, descritos conforme fluxograma.

Figura 8: Fluxograma do projeto



Fonte: Figura do autor

### Descrição do Fluxograma

1. Realizar um estudo preliminar para determinar a necessidade de uma nova ponte e sua localização ideal, isso envolve a análise do local, topografia, geologia, tráfego esperado, regulamentações locais e requisitos do cliente. Com base no estudo preliminar, é necessário começar a desenvolver um projeto conceitual. Isso inclui a seleção do tipo de ponte (ponte suspensa, ponte de concreto, ponte de aço, entre outras.) e a determinação das dimensões gerais da ponte. O processo de criação é complexo e envolve a colaboração de engenheiros civis, estruturais, elétricos, arquitetos, geólogos e outros profissionais.

1.1. A verificação das normas regulamentadoras é um passo fundamental no projeto de uma ponte, uma vez que essas normas estabelecem os requisitos técnicos e de segurança que

devem ser atendidos para garantir a integridade da estrutura, a segurança das pessoas e a conformidade legal.

1.2. A compatibilização dos projetos desempenha um papel crítico na construção, pois ajuda a garantir a segurança, a eficiência, a qualidade e a conformidade regulatória. Ao resolver conflitos e inconsistências antes do início da construção, contribuindo para o sucesso do projeto, economizando tempo e recursos, e assegurando que a ponte atenda às necessidades de transporte de forma segura e eficaz.

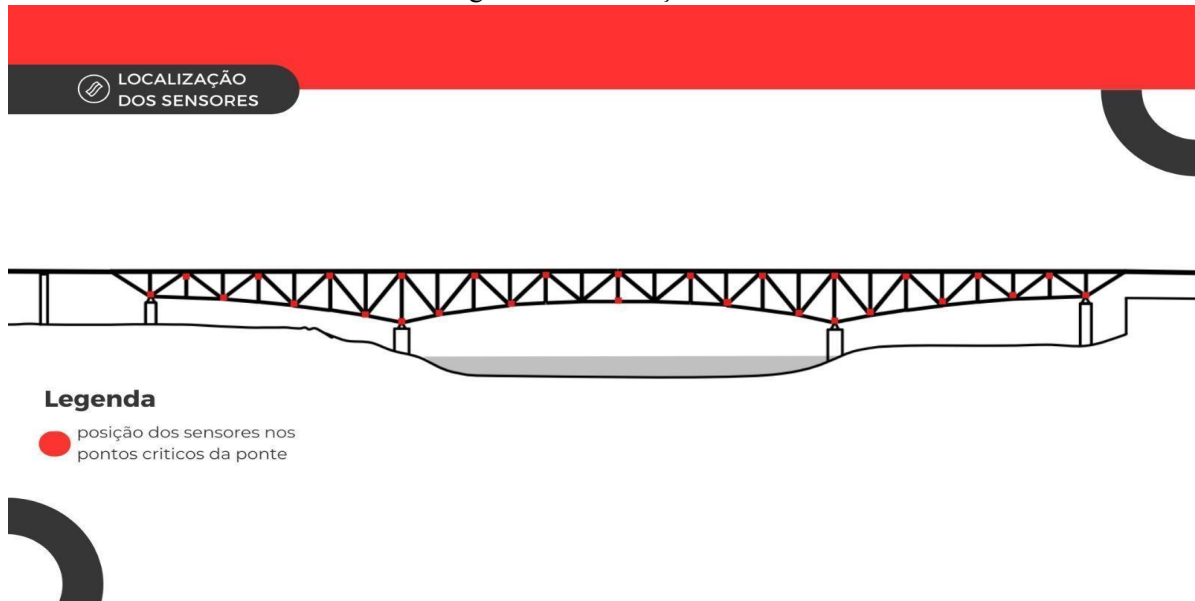
Deverá ser realizada uma análise estrutural para calcular as cargas que a ponte deve suportar, como o peso do tráfego, ventos, terremotos e outras forças. Envolvendo a modelagem matemática da estrutura da ponte e a aplicação de princípios de engenharia estrutural.

1.3. Com base na análise estrutural, é selecionado os materiais adequados para a construção da ponte, pois a escolha dos materiais depende das condições locais e dos requisitos de design. O projeto detalhado inclui a criação de desenhos e especificações técnicas precisas da ponte, abrangendo a integração dos projetos arquitetônicos, estruturais, elétricos, de drenagem e outros. É fundamental assegurar que todos os projetos funcionem juntos de maneira harmoniosa.

Antes de iniciar a construção, é necessário obter aprovações e licenças das autoridades locais e regulatórias. Após a aprovação dos projetos e licenças, a construção da ponte pode se iniciar.

1.4. A implantação dos sensores deverá ser executada em regiões estratégicas, relacionando pontos críticos da estrutura, como junções, emendas, chapas de nós e peças esbeltas, visto que os sensores de vibrações têm o objetivo principal de identificar possíveis oscilações mecânicas irregulares na estrutura, e através de parâmetros considerados aceitáveis para operação, trabalham de forma que em uma situação de falha potencial, notifica a equipe para realização da manutenção.

Figura 9: Localização dos sensores



Fonte: Figura do autor

Já nos casos de edificações com sistemas construtivos mistos como aço e concreto, deverão ser incluídos sensores de fibra ótica, tendo em vista sua capacidade em detectar estímulos físicos, químicos ou biológicos e dar respostas por meio de sinais de advertência, acusando assim, qualquer anormalidade relativa à qualidade dos materiais

A função dos sensores mencionados acima serão de monitorar variações físicas e químicas da estrutura e gerar em tempo real, dentro de um sistema ERP, um acompanhamento completo, de forma dinâmica, todo funcionamento da ponte, fornecendo relatórios de funcionamento e performance, evidenciando pontos de maiores esforços na estrutura.

Aliado à tecnologia de monitoramento, serão compatibilizados os projetos estruturais e complementares em plataformas BIM, onde serão disponibilizados, para as equipes de vistorias e manutenções, óculos de realidade aumentada, nas quais tem função de criar uma sobreposição de toda estrutura projetada e confrontar com a situação real no local, onde, em casos de falhas e anomalias de funcionamento, ao se movimentar pela estrutura, será capaz de ver, através dos óculos, o local exato do erro.

Figura 9: Sobreposição da estrutura compatibilizada em tempo real na obra



Fonte: Revista Grandes Construções, 2022<sup>1</sup>.

2. Uma gestão de obras eficaz é de extrema importância em projetos de construção e desempenha um papel fundamental em todas as fases do processo, desde o planejamento até a entrega do projeto final, criando uma comunicação clara e livre de falhas entre todas as partes interessadas no projeto, com a equipe de construção, subempreiteiros, proprietários e autoridades regulatórias, o qual ajuda a garantir que todos tenham informações atualizadas e estejam alinhados com os objetivos do projeto e o cumprimento de todas as regulamentações locais, nacionais e internacionais aplicáveis, incluindo requisitos de segurança, ambientais e de qualidade, evitando problemas legais e multas.

2.1. A gestão de obras permite um controle rigoroso sobre o andamento do projeto, compreendendo o acompanhamento do progresso, a gestão de recursos, o gerenciamento de prazos, a supervisão de custos, a comunicação eficaz, resolução de problemas, o cumprimento de regulamentações e a satisfação do cliente, contribuindo para o êxito global do empreendimento, sendo responsável para que o projeto seja executado de acordo com as especificações do projeto.

2.2. O gerenciamento de obras envolve a alocação eficiente de recursos, como mão de obra, materiais e equipamentos, para garantir que todas as atividades sejam realizadas no

---

<sup>1</sup>Disponível em: <https://grandesconstrucoes.com.br/Noticias/Exibir/realidade-aumentada-pode-atrair-talentos-para-a-construcao>. Acesso em: 08 nov. 2023

momento certo e no local certo. Os gerentes de obra acompanham o andamento da construção, garantindo que as atividades avancem de acordo com o cronograma estabelecido. Se houver atrasos ou problemas, medidas corretivas podem ser implementadas de forma oportuna para minimizar impactos negativos.

A segurança dos trabalhadores e de terceiros é uma prioridade na execução da obra, devendo haver a implementação de medidas de segurança, regulamentações e procedimentos a fim de se obter um ambiente de trabalho seguro.

Todas as tomadas de decisões são com base em informações em tempo real com a coleta de dados sobre o progresso, permitindo que as decisões sejam tomadas de maneira informada e eficaz.

2.3. Com a integração e a implantação de um sistema ERP (*Enterprise Resource Planning*) próprio, a gestão de obras se beneficia substancialmente, havendo eficiência na redução de custos e no aumento da transparência e controle sobre todos os aspectos do projeto, permitindo um acompanhamento mais preciso e uma tomada de decisões mais embasada em dados, contribuindo para o sucesso geral do empreendimento.

Para a implementação de um sistema ERP é necessário realizar uma avaliação abrangente das necessidades da construção, que compreende identificar todas as áreas que precisam ser gerenciadas como planejamento, orçamento, aquisição, logística, controle de qualidade e mão de obra, para garantir que o projeto seja concluído no prazo e dentro do orçamento, minimizando erros e riscos.

Com base na avaliação das necessidades, a equipe responsável pela implementação seleciona um sistema ERP adequado que atenda aos requisitos específicos da construção da ponte. Existem vários sistemas disponíveis no mercado, alguns dos quais são personalizados para a indústria de construção. O sistema ERP escolhido é então personalizado e configurado de acordo com os processos e fluxos de trabalho da construção da ponte. Isso envolve a definição de campos de dados, fluxos de aprovação, relatórios personalizados e integrações com outros sistemas, quando necessário.

O sistema ERP é configurado com módulos específicos para cada área de operações, como compras, finanças, recursos humanos e gerenciamento de projetos. Cada módulo é integrado ao sistema principal para que as informações possam ser compartilhadas e atualizadas em tempo real.

Antes de implantar totalmente o sistema, é necessário realizar testes abrangentes para garantir que todas as funcionalidades funcionem conforme o esperado. O sistema ERP é constantemente monitorado para garantir seu desempenho e eficiência, à medida que as

necessidades mudam, melhorias e atualizações podem ser implementadas para manter o sistema alinhado com os objetivos do projeto.

A implementação de um sistema ERP bem-sucedido é crucial para a integração eficaz de todas as operações relacionadas à construção de uma ponte, permitindo um controle mais preciso, redução de custos e melhor tomada de decisões ao longo do projeto.

2.2.1. Além de um projeto bem executado e um controle de gestão de obras, é imprescindível garantir que a ponte atenda a todos os padrões de qualidade, essencial para a segurança e o desempenho a longo prazo da estrutura.

O processo de controle de qualidade começa com um planejamento detalhado. A equipe de gerenciamento de projetos identifica os requisitos de qualidade, estabelece metas, desenvolve planos de controle e define responsabilidades.

É essencial que as especificações técnicas e os padrões de qualidade sejam claramente definidos, incluindo critérios para materiais, métodos de construção, tolerâncias, testes e inspeções. Antes de iniciar a construção, os materiais, como concreto, aço, cabos e outros, devem ser inspecionados e testados quanto à conformidade com as especificações, inclusive os ensaios de resistência, durabilidade e outras propriedades relevantes.

Durante a construção, os engenheiros realizam testes e monitoram a qualidade da obra para garantir que a ponte atenda aos padrões de segurança e desempenho estabelecidos pelos processos de fabricação, montagem e instalação que devem ser controlados de perto para garantir que elas estejam sendo realizadas de acordo com as especificações. Se uma não conformidade for identificada durante o processo de controle de qualidade, ela deve ser documentada, relatada à equipe de gerenciamento de projeto e corrigida imediatamente. A causa raiz da não conformidade também deve ser identificada e resolvida. A ponte deverá passar por uma última inspeção e avaliação para que atenda a todos os critérios de qualidade, uma vez que a estrutura seja considerada aceitável, podendo receber certificações e aprovações necessárias.

3. Monitoramento e manutenção regular é um processo contínuo para certificar sua segurança e durabilidade ao longo do tempo, envolvendo inspeções periódicas, reparos e substituição de componentes desgastados.

3.1. A manutenção preventiva começa com uma inspeção inicial da ponte, engenheiros e inspetores examinam a estrutura em busca de danos visíveis, desgaste e outros problemas potenciais, inspecionando os elementos como pilares, vigas, cabos, superfícies de rodovia, juntas de expansão e sistemas de drenagem.

3.1.1. Com base na inspeção inicial, os profissionais de manutenção avaliam os riscos potenciais associados a qualquer dano ou deterioração identificados, classificando os problemas em termos de gravidade e prioridade para determinar quais ações de manutenção são mais urgentes. Após a avaliação de risco, é elaborado um plano de manutenção preventiva. Este plano detalha as atividades a serem realizadas, a frequência das inspeções e a alocação de recursos, incluindo mão de obra, equipamentos e materiais.

A limpeza regular da ponte é uma parte importante da manutenção preventiva. Isso envolve a remoção de detritos, sujeira, vegetação e outros materiais que possam prejudicar a estrutura. Além disso, a conservação de superfícies metálicas com revestimentos protetores é realizada para prevenir a corrosão.

Durante as inspeções regulares, qualquer dano menor identificado, como rachaduras, desgaste ou corrosão, deverá ser reparado imediatamente até mesmo a aplicação de selantes, pintura, reforço de juntas e substituição de parafusos.

3.1.2. A manutenção preventiva é essencial para prolongar a vida útil de uma ponte, evitar custos elevados de reparos emergenciais e garantir a segurança do tráfego. É um processo contínuo que requer a coordenação de uma equipe de profissionais qualificados e o uso de equipamentos e técnicas adequadas para manter a ponte em boas condições ao longo do tempo.

3.1.3. O plano de manutenção preventiva é revisado regularmente para garantir que esteja alinhado com as condições da ponte e as necessidades de manutenção em evolução, podendo ser atualizado com base nas descobertas das inspeções e no feedback da equipe de manutenção. Todos os resultados das inspeções, ações de manutenção e quaisquer reparos realizados são registrados e documentados de forma detalhada, isso cria um histórico de manutenção que é essencial para a tomada de decisões futuras.

3.2. Para a manutenção preditiva, os sensores e o monitoramento contínuo alinhados ao sistema ERP, ajudam a coletar dados sobre o desempenho dos equipamentos ao longo do tempo. Esses dados são então analisados para identificar padrões e tendências que possam indicar possíveis falhas futuras, antecipando os problemas com base em dados e análises.

3.2.1. A combinação desses sensores fornece uma visão abrangente da saúde estrutural da ponte, permitindo a implementação eficaz de estratégias de manutenção preditiva e a detecção precoce de problemas potenciais. Alguns parâmetros importantes para os sensores em uma ponte incluem: deformação, localização, deslocamento, vibração, temperatura, umidade, carga estrutural, inclinação e fadiga estrutural.

3.2.2. A conferência do funcionamento dos sensores em uma ponte é uma etapa crítica para garantir a eficácia contínua do sistema de monitoramento. É necessário realizar algumas inspeções, seja uma inspeção visual dos sensores para garantir que não haja danos físicos, corrosão ou qualquer outra condição que possa afetar seu desempenho; verificação de conexões, certificando-se de que todas as conexões elétricas estejam seguras e livres de corrosão; calibração dos sensores para garantir que forneçam leituras precisas e testes funcionais em cada sensor para garantir que estejam respondendo corretamente aos estímulos.

3.2.3 O monitoramento contínuo dos sensores em uma ponte não apenas aumenta a segurança e confiabilidade da infraestrutura, mas também contribui para a eficiência operacional e a tomada de decisões estratégicas. O monitoramento contínuo permite a detecção imediata de quaisquer anomalias ou mudanças nas condições estruturais da ponte, possibilitando a intervenção rápida antes que problemas se agravem, reduzindo o risco de falhas catastróficas. Integrar o monitoramento contínuo dos sensores com um sistema ERP (Enterprise Resource Planning) amplia os benefícios, ou seja, os dados coletados pelos sensores podem ser automaticamente alimentados no sistema ERP, fornecendo uma visão abrangente do estado da ponte e suas implicações financeiras.

A integração com um sistema ERP também facilita a criação de um registro histórico completo. Isso é valioso para auditorias de conformidade, avaliação de desempenho ao longo do tempo e para aprimorar continuamente os processos de manutenção.

## **Resultados e Discussão**

As pontes desempenham um papel vital nas redes de transporte, conectando comunidades e impulsionando o desenvolvimento econômico. Garantir a segurança e a eficiência dessas estruturas é crucial, e a incorporação de tecnologias inovadoras, como sensores de vibração, emerge como uma solução promissora. Este estudo explora as vantagens econômicas e sociais derivadas da aplicação dessa tecnologia, destacando seu potencial para transformar a gestão e a manutenção de pontes.

### **1. Monitoramento em Tempo Real:**

Sensores de vibração oferecem a capacidade de monitorar as condições estruturais das pontes em tempo real. Essa capacidade permite a detecção precoce de anomalias, contribuindo para a prevenção de falhas estruturais e reduzindo a necessidade de reparos de emergência.

## 2. Redução de Custos de Manutenção:

A análise dos dados de vibração no sistema ERP permite a implementação de estratégias de manutenção preditiva. Algoritmos avançados podem identificar padrões e tendências associados a potenciais problemas estruturais. Essa abordagem possibilita intervenções antes que danos significativos ocorram, evitando custos elevados de reparo e minimizando a interrupção do tráfego.

A manutenção preditiva baseada em dados de sensores de vibração minimiza a necessidade de manutenção corretiva, resultando em economias significativas a longo prazo.

## 3. Aumento da Durabilidade das Pontes:

Ao integrar dados de sensores de vibração ao sistema ERP, é possível programar intervenções de manutenção preventiva de forma mais eficiente. As informações em tempo real permitem a análise da vida útil de componentes específicos da ponte, facilitando a programação de substituições ou reparos antes que atinjam o fim de sua vida útil.

A capacidade de otimizar os intervalos de manutenção, com base em dados concretos, resulta em pontes mais duráveis e resistentes ao longo do tempo.

## 4. Registro de Histórico de Manutenção:

O sistema ERP não apenas facilita a análise em tempo real, mas também mantém um registro detalhado do histórico de manutenção. Isso é crucial para a tomada de decisões estratégicas a longo prazo, permitindo a adaptação contínua dos planos de manutenção com base no desempenho passado e nas condições de operação.

## 5. Segurança Viária Aprimorada:

A aplicação de sensores de vibração fortalece os aspectos de segurança viária, reduzindo o risco de acidentes causados por falhas estruturais. A confiança na integridade das pontes promove uma circulação mais segura, beneficiando tanto motoristas quanto pedestres.

## 6. Incentivo à Inovação Tecnológica:

O investimento em tecnologias como sensores de vibração estimula a inovação no setor de infraestrutura. Empresas de tecnologia e engenharia são motivadas a desenvolver soluções cada vez mais avançadas, contribuindo para o progresso contínuo na gestão de pontes.

## Conclusões

A tragédia da Ponte I-35W, Mississippi, é um lembrete trágico das consequências de subestimar a importância da manutenção preditiva e do monitoramento estrutural. A aplicação de sensores de vibração poderia ter desempenhado um papel crucial na prevenção desse desastre, oferecendo alertas antecipados, possibilitando intervenções programadas e promovendo a segurança viária. Essa experiência destaca a necessidade urgente de adotar tecnologias inovadoras na gestão de infraestruturas, garantindo que a segurança pública seja sempre a prioridade máxima. Ao aprender com os eventos passados, podemos avançar na construção de sociedades mais seguras, resistentes e preparadas para enfrentar os desafios do futuro.

A integração de sensores de vibração em pontes a um sistema ERP representa uma evolução significativa na gestão de infraestrutura oferecendo vantagens substanciais tanto do ponto de vista econômico quanto social. A combinação de dados em tempo real, redução de custos de manutenção, aumento da durabilidade, análises preditivas e a eficiência do planejamento de manutenção proporcionam uma abordagem abrangente para garantir a segurança e a durabilidade das pontes. Investir nessa integração não apenas otimiza recursos, mas também contribui para um sistema de transporte mais seguro, confiável e sustentável. A aplicação conjunta de manutenção preventiva e preditiva, suportada por tecnologia de ponta, contribui para o desenvolvimento contínuo da engenharia civil, destacando-se como uma abordagem indispensável para garantir a sustentabilidade e o desempenho superior das pontes em nossa infraestrutura moderna.

## Referências Bibliográficas

**A EVOLUÇÃO da construção civil com o uso da tecnologia da informação**, Sebrae. 2023  
Disponível em:  
<https://sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/a-evolucao-da-construcao-civil-com-o-uso-da-tecnologia-da-informacao%2C845db42fc05c5810VgnVCM1000001b00320aRCRD>. Acesso em 27 set. 2023.

Canal *History* Brasil. **Catástrofes da Engenharia**. Youtube, 23 de maio de 2022. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=paQg9TsvwLE>. Acesso em: 20 set. 2023.

CRAVO, Edilson. **Tipos de sensores: quais são eles e como aplicá-los na indústria**. Kalatec. [s.d.] Disponível em: <https://blog.kalatec.com.br/tipos-sensores-industriais/>. Acesso em: 28 set. 2023.

Engenharia Civil na Net. **Ponte de Minneapolis (EUA) cai sobre o rio Mississippi.**

Disponível em:

<http://engenhariacivilnanet.blogspot.com/2007/08/ponte-de-minneapolis-eua-cai-sobre-o.html>

. Acesso em: 16 out. 2023

**FATORES críticos de sucesso na indústria da construção civil utilizando redes neurais artificiais** (livro eletrônico / Mauro Luiz Erpen ... et al.] : coordenação Isabela Arantes Ferreira. São Paulo : Bookerfield, 2021. PDF. Acesso em 12 set. 2023.

G1 Globo. **Encontrada oitava vítima de desabamento de ponte nos EUA.** Disponível em:

<https://g1.globo.com/Noticias/Mundo/0,,MUL86393-5602,00-ENCONTRADA+OITAVA+VITIMA+DE+DESABAMENTO+DE+PONTE+NOS+EUA.html>. Acesso em 6 out. 2023.

MATTOS, A. D. **Planejamento e controle de obras** - 2. edição. São Paulo : Oficina de Textos, 2019.

MIRANDA, M. V. **A importância da manutenção preventiva para o bom desempenho da edificação.** Rio de Janeiro: UFRJ / Escola Politécnica, 2015.

MPR News. **Fotos do colapso da ponte I-35W.** Disponível em:

<https://www.mprnews.org/story/2017/08/01/looking-back-photos-of-the-bridge-collapse>.

Acesso em 6 out. 2023.

NEPOMUCENO, Lauro Xavier, **TÉCNICAS de manutenção preditiva** / Lauro Xavier Nepomuceno – São Paulo: Blucher, 1989.

PENMAN, Robert. **Realidade aumentada pode atrair talentos para a construção.** Revista Grandes Construções. maio, 2022. Disponível em:

<https://grandesconstrucoes.com.br/Noticias/Exibir/realidade-aumentada-pode-atrair-talentos-para-a-construcao>. Acesso em: 05 maio 2023.

QUEIROZ, C. R. **Introdução à Engenharia Civil: História, Principais áreas e Atribuições da Profissão** - 1ª edição. Editora Blucher, 2019.

SENA, Caroline, S. et al. **Gestão de Obras e Patologia das Estruturas.** Porto Alegre: SAGAH, 2021.

SOUZA, Eduardo. **9 Tecnologias de Realidade Aumentada para construção.** ArchDaily, 2019. Disponível em:

<https://www.archdaily.com.br/br/914441/8-tecnologias-de-realidade-aumentada-para-construcao>. Acesso em 29 julh. 2023.