

2022

Estado da Arte



Grupo de Estudos Pontes Mistas

ABECE

21/9/2022

DIGITAL TWIN: Convergência de tecnologias

Duperron Marangon Ribeiro

Conceitos básicos

Gêmeos digitais, representações virtuais de ativos físicos, estão sendo cada vez mais usados na inspeção e manutenção de pontes. Ao criar um gêmeo digital de uma ponte, os engenheiros podem analisar a estrutura detalhadamente, identificar possíveis problemas e planejar a manutenção e os reparos com mais eficiência.

Um grande benefício do uso de gêmeos digitais é a capacidade de analisar o risco de falha de uma ponte em seu estado real de degradação de forma objetiva e padronizada. Isso permite que os engenheiros priorizem a manutenção e os reparos de acordo.

Além disso, os gêmeos digitais podem ser usados para monitorar a condição de uma ponte em tempo real. Os sensores na ponte podem coletar dados sobre o desempenho da estrutura e transmiti-los ao gêmeo digital, permitindo que os engenheiros identifiquem os problemas à medida que ocorrem. Isso pode ajudar a evitar falhas estruturais caras e potencialmente perigosas, permitindo que a manutenção seja realizada antes que os problemas se tornem críticos.

Experimente um Digital Twin



Usuario: nbr9452@abnt.org.br

senha: Digital1

No geral, o uso de gêmeos digitais na inspeção, avaliação de risco e manutenção de pontes pode levar a estratégias de manutenção mais eficientes e eficazes, bem como a melhorar a segurança do público. À medida que a tecnologia continua avançando, é provável que os gêmeos digitais desempenhem um papel cada vez mais importante no gerenciamento de ativos de infraestrutura.

Veja um exemplo de gêmeo digital de uma pequena ponte apontando o seu celular para esse QR code. Use o e-mail nbr9452@abnt.org.br e senha: Digital1.

Vários tipos de gêmeos digitais podem ser classificados de acordo com suas aplicações e funcionalidades. Alguns dos tipos mais comuns são:

Gêmeos de processo: Simulam e otimizam processos de negócios, como manufatura, logística e cadeias de suprimentos. Eles ajudam a identificar gargalos e oportunidades de melhoria, permitindo uma tomada de decisão mais informada.

Gêmeos de manutenção: Monitoram o desempenho e o estado de ativos físicos, como máquinas e equipamentos, e preveem a necessidade de manutenção ou reparo. Isso ajuda a evitar falhas, reduzir o tempo de inatividade e melhorar a eficiência operacional.

Gêmeos de produto: Representam um produto específico, como um dispositivo eletrônico ou uma peça de maquinário. Eles podem ser usados para simular e testar o desempenho do produto em condições variadas, acelerar o desenvolvimento e melhorar a qualidade do produto.

Gêmeos de sistema: Criam modelos detalhados de sistemas complexos, como infraestruturas de transporte ou redes de energia. Isso permite simular o impacto de mudanças e otimizações no sistema como um todo, melhorando a eficiência e a resiliência.

Gêmeos de cidade: Representam cidades e áreas urbanas, permitindo o planejamento urbano e a análise de políticas. Isso inclui simulação de tráfego, análise de consumo de energia e modelagem de crescimento populacional.

Gêmeos de ambiente: Modelam ecossistemas naturais, como florestas, rios e oceanos, para entender melhor os impactos ambientais e informar a tomada de decisões em relação à conservação e políticas ambientais.

Gêmeos de saúde: Representam indivíduos ou populações em termos de saúde e bem-estar, permitindo a análise de dados médicos e a previsão de resultados de saúde. Eles podem ser usados para desenvolver e testar tratamentos personalizados e otimizar a prestação de cuidados de saúde.

Esses são alguns exemplos de tipos de gêmeos digitais. À medida que a tecnologia avança e se torna mais integrada a diversas áreas, é provável que surjam novos tipos e aplicações de gêmeos digitais.

Neste texto, abordamos o gêmeo digital direcionado à manutenção, englobando inspeção realizada tanto por humanos quanto por drones, coleta de dados através de sensores, análise de riscos e recomendações de intervenções apropriadas.

No futuro, os gêmeos digitais de manutenção das pontes se integrarão a outros gêmeos digitais, como o de cidades, ambientes e produtos, gerando inúmeros benefícios sinérgicos, tais como avaliar a capacidade de resistência de pontes diante de condições atmosféricas extremas, planejar inspeções e intervenções levando em consideração as condições climáticas, entre outros desdobramentos.

A história dos gêmeos digitais

A história do gêmeo digital (digital twin) remonta às primeiras décadas do século XX. O conceito geral foi desenvolvido e popularizado pela NASA durante a década de 1960 e 1970, quando a agência enfrentou desafios significativos no monitoramento e manutenção de naves espaciais em missões distantes. A ideia era criar um modelo virtual que simulasse o funcionamento dos sistemas e componentes das naves, facilitando a análise, o diagnóstico e a resolução de problemas à distância.

Embora o conceito já existisse há décadas, o termo "digital twin" foi cunhado por Michael Grieves em 2002, durante uma conferência na Universidade de Michigan. Grieves descreveu o gêmeo digital como uma representação digital de um objeto ou sistema físico, que poderia ser usado para simular, analisar e otimizar o desempenho do objeto real.

A aplicação do conceito de gêmeo digital na manutenção começou a ganhar impulso na década de 2010, com o avanço das tecnologias digitais, como a Internet das Coisas (IoT), a computação em nuvem e a análise de dados em grande escala. Essas tecnologias permitiram a coleta e o processamento de dados em tempo real, possibilitando a criação de modelos virtuais altamente precisos e a realização de manutenções preditivas e preventivas.

Hoje, o gêmeo digital é utilizado em diversos setores, como manufatura, infraestrutura, energia e transporte, para otimizar processos, reduzir custos e melhorar a eficiência operacional. A tendência é que a aplicação dos gêmeos digitais continue a se expandir, à medida que as tecnologias digitais avançam e as organizações buscam soluções inovadoras para enfrentar os desafios do futuro.

No Brasil, o primeiro gêmeo digital foi desenvolvido em 1992, antes mesmo da criação do termo "digital twin". Funcionando no sistema operacional DOS, essa aplicação pioneira tinha como objetivo a manutenção de navios. Atualmente, existem diversos gêmeos digitais com diferentes propósitos, sendo desenvolvidos tanto no Brasil quanto no exterior.

Embora seja difícil listar todos os gêmeos digitais desenvolvidos no Brasil, é possível destacar alguns projetos e iniciativas notáveis em diferentes setores:

Setor de Energia: Algumas empresas de petróleo tem trabalhado na implementação de gêmeos digitais para otimizar a manutenção e as operações em plataformas de petróleo e gás, como a Bacia de Santos. Essas soluções digitais ajudam a monitorar o desempenho dos ativos, prever falhas e reduzir os custos de manutenção.

Setor de Transporte: Algumas empresas de transporte e infraestrutura no Brasil têm adotado o uso de gêmeos digitais para monitorar e gerenciar ativos, como pontes, estradas, túneis e sistemas ferroviários. Essas soluções digitais podem melhorar a segurança, a eficiência e a sustentabilidade dessas infraestruturas.

Agricultura e Meio Ambiente: No Brasil, o uso de gêmeos digitais na agricultura e na gestão de recursos naturais também tem ganhado espaço. Essas soluções podem

auxiliar na otimização do uso de recursos, como água e fertilizantes, bem como no monitoramento das condições climáticas e do desempenho das culturas.

Manufatura e Indústria 4.0: Empresas brasileiras de diversos setores, como automobilístico, siderúrgico e de bens de consumo, estão explorando o potencial dos gêmeos digitais para melhorar a eficiência operacional, a qualidade dos produtos e a manutenção de suas instalações e equipamentos.

Esses exemplos mostram que o Brasil tem avançado na adoção e no desenvolvimento de gêmeos digitais em diferentes setores. No entanto, é importante ressaltar que ainda há um longo caminho a ser percorrido e muitas oportunidades para ampliar a aplicação dessas soluções no país.

A diferença entre BIM e Gêmeos Digitais

Ambos são representações digitais de ativos físicos, mas servem a propósitos diferentes.

BIM é um processo para criar e gerenciar informações sobre um projeto de construção ao longo de seu ciclo de vida. Envolve a criação de um modelo digital de um edifício ou outra estrutura que inclui informações detalhadas sobre seu projeto, construção e operação. O BIM pode ser usado para coordenar o projeto e a construção, otimizar o desempenho do edifício e facilitar a manutenção e os reparos.

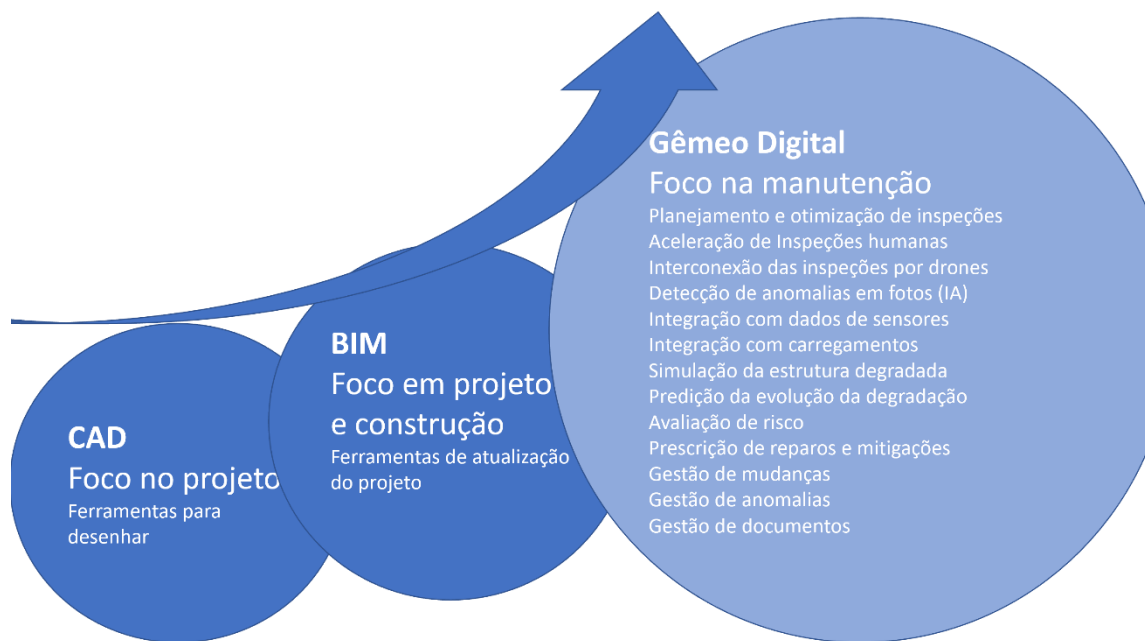
Os gêmeos digitais, por outro lado, são representações virtuais de ativos físicos criados após a construção do ativo. Eles podem ser usados para simular o comportamento e o desempenho do ativo em diferentes condições, monitorar sua condição em tempo real e planejar manutenções e reparos.

No contexto das pontes, o BIM seria utilizado durante a fase de projeto e construção para coordenar os vários aspectos do projeto e otimizar o desempenho da ponte. Depois que a ponte é construída, um gêmeo digital pode ser criado para simular seu comportamento, monitorar sua condição e planejar manutenções e reparos.

Assim, enquanto o BIM é focado no projeto e construção de um edifício ou estrutura, os gêmeos digitais são usados para gerenciar e manter o ativo depois de construído.

Como pode ser observado no capítulo referente a BIM, os conceitos estão convergindo e criando sobreposições. O BIM também passa a ser entendido como um sistema que pode atender à fase de manutenção.

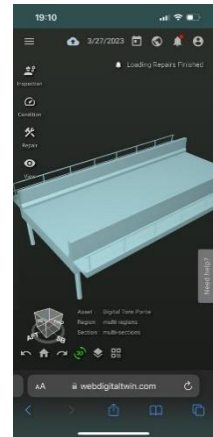
Isso é natural pois o Gêmeo Digital é uma evolução decorrente da convergência de diversas tecnologias tais como BIM, IoT (internet of Things), IA (inteligência Artificial), FEA (Simulação Numérica por Elementos Finitos), Computação na Nuvem, computação na borda, computação na névoa, Drones, Big Data, Smart Phones, etc.



A implantação de Gêmeos Digitais

Construção dos modelos

Tal como a construção de um modelo BIM, pode-se construir um modelo 3D para o gêmeo digital de diversas formas, tais como a partir dos desenhos originais, de outros modelos 3D existentes, através de escaneamento laser ou por fotos etc. Em geral, para estruturas de aço, esse modelo será bem fidedigno, pois o mesmo poderá ser usado para o passo posterior de construção de uma modelo de elementos finitos. Nas estruturas de concreto, esse modelo não precisará representar as armaduras internas e, portanto, uma representação mais simples será suficiente para receber informações sobre inspeções e reparos.



O modelo 3D como esse do exemplo é suficiente para a gestão de inspeções, anomalias e documentos. A simples utilização do gêmeo digital para essa finalidade já agrega grande valor através da redução de custo e tempo das inspeções, redução de exposição ao risco de inspetores, avaliação mais precisa de risco, etc.

No entanto, o gêmeo digital não é apenas um modelo 3D com dados. Ele também pode realizar simulações numéricas. Para isso, um modelo de elementos finitos deve ser também construído e ligado ao modelo 3D para que ambos possam trocar informações automaticamente. Esse gêmeo digital mais completo tem maior utilidade para pontes de aço onde faz sentido fazer avaliações de risco utilizando análise por elementos finitos de forma automática e transparente para o usuário. As pontes de concreto têm simulação numérica somente em condições especiais e menos frequentes.

Inspeções

Humanas

A utilização de Gêmeos Digitais para otimização de inspeções humanas apresenta vantagens como a padronização da atividade de inspeção, análise padronizada de anomalias utilizando inteligência artificial, priorização de áreas críticas com base em dados históricos e riscos observados, bem como a flexibilidade para incorporar novas descobertas durante a inspeção.

As inspeções podem incluir tanto análises visuais para registro de anomalias tais como fissuras, desagregação, descolamento, eflorescência, descamação, gretamento etc., quanto medições



de parâmetros como a profundidade de carbonatação ou de penetração de cloretos. O uso de planos de inspeção padronizados e pontos de medição ao longo do tempo permite prever a evolução da degradação dos ativos.

Com a utilização do Gêmeo Digital, torna-se desnecessária a elaboração de relatórios de inspeção, já que o próprio modelo digital proporciona acesso à condição do ativo. Entretanto, se necessário, a emissão de relatórios é imediata e não requer trabalho exaustivo de elaboração.

Um gêmeo digital apropriado para inspeções deve ser capaz de funcionar offline, pois muitos locais onde as inspeções são realizadas podem não ter acesso à internet. Essa capacidade permite que os inspetores e engenheiros realizem suas tarefas de forma eficiente, mesmo em áreas remotas ou com conectividade limitada. Para desenvolver um gêmeo digital que funcione offline, são necessárias algumas considerações e estratégias.

Armazenamento de dados local: Um gêmeo digital offline deve armazenar informações e dados relevantes no dispositivo local do usuário, como um laptop ou tablet. Isso permite que os inspetores acessem e interajam com o modelo 3D e os dados associados sem a necessidade de uma conexão à internet.

Sincronização de dados: Para garantir que o gêmeo digital offline esteja atualizado, é importante estabelecer um processo de sincronização de dados que ocorra quando o dispositivo estiver conectado à internet. Isso permitirá que as atualizações e alterações feitas offline sejam incorporadas ao gêmeo digital centralizado e compartilhadas com outras partes interessadas.

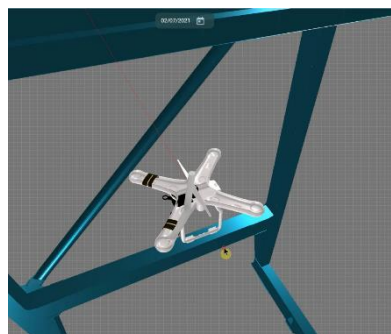
Ferramentas de análise offline: Os inspetores e engenheiros devem ter acesso a ferramentas de análise que possam funcionar offline. Isso inclui a capacidade de visualizar, manipular e analisar o modelo 3D e os dados associados, bem como identificar e documentar anomalias e defeitos encontrados durante a inspeção.

Capacidade de documentação offline: Os inspetores devem ser capazes de documentar suas descobertas offline, incluindo anotações, fotografias e medições. Essas informações devem ser facilmente integradas ao gêmeo digital quando a conexão à internet for restabelecida.

Ao desenvolver um gêmeo digital que possa funcionar offline, os inspetores e engenheiros poderão realizar inspeções de maneira eficiente e precisa, mesmo em áreas onde a conectividade à internet seja limitada ou inexistente. Essa abordagem melhorará a capacidade de monitorar e manter infraestruturas críticas em todo o mundo, independentemente da localização e das condições de conectividade.

Drones

A integração entre inspeções realizadas por drones em pontes e Gêmeos Digitais permite aumentar a segurança e a eficiência das inspeções visuais. Essa prática reduz custos e tempo necessários



para execução do trabalho, aumenta a precisão das inspeções e a segurança dos inspetores, especialmente em regiões de acesso difícil ou perigoso.

Para funcionar bem, os drones devem ter dispositivos de geolocalização mais precisos tal com a tecnologia RTK ou equivalente com precisão da ordem de centímetros e não de metros como ocorre nos GPS convencionais.

RTK (Real-Time Kinematic) é uma técnica avançada de posicionamento por satélite usada em sistemas de navegação de alta precisão. A tecnologia RTK utiliza sinais de satélite para medir a distância entre um receptor e os satélites de GPS (Sistema de Posicionamento Global), GLONASS (Sistema Global de Navegação por Satélite) ou outros sistemas de navegação por satélite.

A técnica RTK utiliza uma estação de referência que fornece correções em tempo real para o receptor de navegação. Isso permite que o receptor calcule sua posição com alta precisão em tempo real, geralmente na ordem de alguns centímetros.

A tecnologia RTK é frequentemente usada em aplicações que exigem alta precisão, como agricultura de precisão, topografia, mapeamento, monitoramento de estruturas, navegação aérea e marítima, entre outras.

Após a captura das imagens por drone, estas são integradas ao modelo de gêmeo digital por meio de upload. No gêmeo digital, as anomalias são identificadas, classificadas e posicionadas automaticamente, a fim de serem incorporadas no processo de avaliação de risco e manutenção. É importante ressaltar que as imagens possuem metadados contendo sua posição geográfica e atitude da câmera no momento da captura, possibilitando a inserção automática das mesmas na posição correta do modelo, sem a necessidade de intervenção humana.

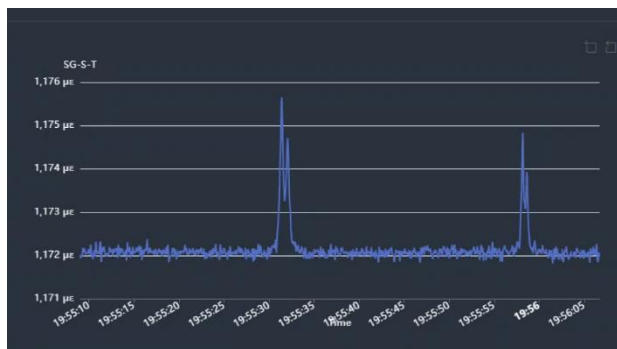
O modelo de gêmeo digital possui as informações da geometria e localização geográfica da ponte, permitindo a criação de um plano de voo padronizado para a inspeção por drone. Embora o voo autônomo ainda seja proibido na maioria dos países, há esforços contínuos no desenvolvimento dessa tecnologia para viabilizá-la com segurança. No futuro, a possibilidade de implantação de drones residentes em regiões ou pontes específicas poderá ser explorada.

Sensores

O uso de sensores em uma estrutura, como uma ponte ou edifício, pode fornecer informações valiosas sobre seu comportamento e condição. Esses sensores podem enviar dados em tempo real ao modelo de gêmeo digital, permitindo uma avaliação mais precisa do desempenho estrutural e a identificação precoce de anomalias.

Com base nesses dados, é possível tomar medidas preventivas ou corretivas em tempo hábil para evitar danos à estrutura ou à segurança pública. Além disso, a análise dos dados coletados pelos sensores pode ajudar a reduzir a quantidade de inspeções manuais necessárias, economizando tempo e recursos.

Em situações críticas, como quando a estrutura atinge um estado limite de degradação ou é submetida a carregamentos excessivos, o modelo de gêmeo digital pode alertar automaticamente os responsáveis pela manutenção ou a segurança pública, permitindo uma resposta rápida e eficaz.



Predições

A previsão da degradação futura em pontes pode ajudar a identificar e corrigir problemas antes que ocorram falhas.

Os dados históricos das medições de pontes, como a profundidade de carbonatação, a penetração de cloretos e a corrosão, são usados para criar algoritmos de previsão da degradação futura. Com base nesses dados, os algoritmos podem identificar padrões e tendências que indicam quando uma ponte de concreto pode estar em risco de falha.



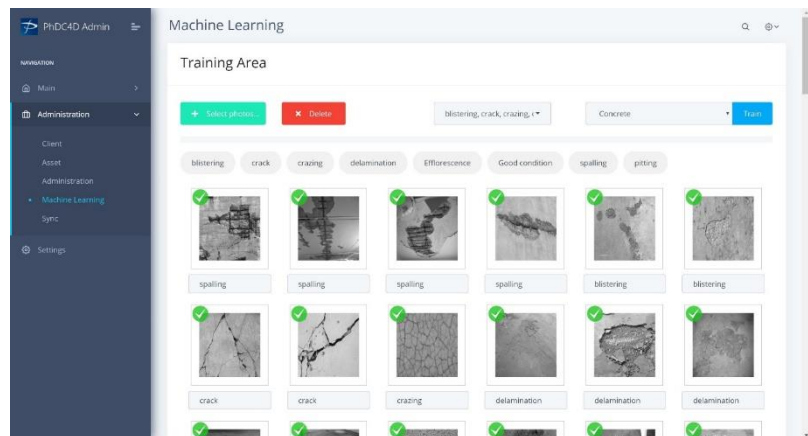
Por exemplo, se as medições históricas mostram que a profundidade de penetração de cloretos no concreto de uma ponte está aumentando progressivamente ao longo do tempo, os algoritmos podem prever quando a profundidade atingirá um nível crítico e afetará a armadura. Com essa informação, os gerentes de manutenção podem programar a manutenção preventiva para antes que ocorra uma falha estrutural.

Além disso, a previsão da degradação futura em pontes também pode ajudar a otimizar o cronograma de manutenção. Em vez de realizar manutenção preventiva em intervalos fixos, a manutenção pode ser programada com base nas previsões de degradação futura. Isso pode ajudar a reduzir os custos de manutenção e minimizar o tempo de inatividade não planejado.

Em resumo, as previsões de degradação em gêmeos digitais são uma técnica valiosa para antecipar falhas estruturais em pontes e programar a manutenção preventiva. Com a ajuda de algoritmos de aprendizado de máquina e análise de dados, é possível prever a degradação futura e tomar medidas preventivas para garantir a segurança dos usuários e a integridade estrutural das pontes.

Gestão de Anomalias

No processo de inspeção, as anomalias identificadas requerem monitoramento, mitigação ou reparo de acordo com a gravidade de cada uma. A utilização de um gêmeo digital na gestão desse processo simplifica significativamente a



tarefa, pois permite estabelecer uma conexão direta entre a ação planejada e o ativo físico, facilitando o acompanhamento e a intervenção necessária. Dessa forma, é possível prevenir a escalada de problemas e garantir a integridade e a funcionalidade contínua dos ativos.

Ao integrar informações em tempo real e históricas com análises preditivas, o gêmeo digital fornece uma visão abrangente do estado atual e futuro dos ativos, permitindo que os gestores priorizem intervenções com base em critérios objetivos e embasados em dados. Com o uso de algoritmos avançados e aprendizado de máquina, os gêmeos digitais podem até mesmo prever a evolução das anomalias e sugerir ações corretivas mais eficientes e eficazes.

Essa abordagem orientada por dados possibilita um gerenciamento proativo dos ativos, reduzindo o tempo de inatividade e minimizando os custos de manutenção. Além disso, a gestão de anomalias por meio de gêmeos digitais contribui para a melhoria contínua dos processos, aprimorando a confiabilidade e a segurança dos ativos e promovendo um ambiente de trabalho mais seguro para os profissionais envolvidos.

Avaliações de Risco

Depois de feita a predição da degradação para uma data futura para a qual se deseja que a ponte trabalhe sem falhas, entramos então na avaliação de risco naquela condição de degradação.

A avaliação do risco feita de forma automática é um dos principais benefícios de um gêmeo digital de pontes. A avaliação de risco é crucial para identificar quais pontes precisam de manutenção ou reparo, e em que momento. No entanto, muitas vezes, a avaliação de risco é realizada manualmente, o que pode levar a avaliações subjetivas e potencialmente imprecisas.

Com um gêmeo digital de pontes, a avaliação de risco é feita de forma automática e sem viés. Isso é possível graças ao uso de técnicas avançadas de análise de dados, como aprendizado de máquina e simulação numérica. Essas técnicas permitem que

uma grande quantidade de dados seja analisada de forma rápida e eficiente, algo que seria impossível para um engenheiro humano.

Os cálculos de risco podem ser feitos com base em critérios de normas de engenharia ou através de simulação numérica nos casos mais críticos ou de pontes de aço onde essa prática pode ser adotada de forma mais ampla. Isso significa que a avaliação de risco é baseada em padrões bem definidos e objetivos, o que aumenta a precisão e confiabilidade dos resultados.

Na avaliação de risco, a probabilidade de falha decorrente de cada anomalia é considerada, bem como a consequência dessa falha. Como sabemos, o risco é a multiplicação da probabilidade de falha pela sua consequência. Com base nessas informações, é possível determinar quais pontes apresentam maior risco e priorizar a manutenção ou reparo.

Probabilidade de falha				
	Consequência da falha			

Matriz de Risco

Em resumo, a avaliação automática de risco em um gêmeo digital de pontes é um benefício significativo para a indústria de pontes. Com a análise automatizada de dados, é possível evitar viés e avaliações subjetivas, aumentar a precisão e confiabilidade dos resultados e, assim, garantir a segurança dos usuários e a integridade estrutural das pontes.

Conformidade com normas

O gêmeo digital desempenha um papel fundamental na avaliação da conformidade das inspeções em relação às normas e regulamentações aplicáveis, garantindo que os ativos sejam gerenciados de forma segura e eficiente. Ao planejar inspeções com base nos requisitos normativos, o gêmeo digital contribui para a manutenção da conformidade e minimiza riscos associados ao não cumprimento das normas.

Análise e interpretação de requisitos normativos: O gêmeo digital pode ser programado para incorporar os requisitos das normas e regulamentações relevantes. Isso permite que a plataforma analise e interprete essas exigências, facilitando o processo de avaliação da conformidade das inspeções realizadas.

Planejamento de inspeções em conformidade: Com base nos requisitos normativos e nas informações em tempo real do ativo, o gêmeo digital pode planejar inspeções de forma a cumprir os requisitos estabelecidos. Isso inclui a definição de intervalos de inspeção, técnicas de inspeção apropriadas e a identificação de áreas críticas que demandem atenção especial.

Monitoramento e rastreamento da conformidade: Ao acompanhar o progresso das inspeções e compará-lo com os requisitos normativos, o gêmeo digital pode fornecer uma visão clara do status da conformidade. Isso permite que os gestores identifiquem rapidamente quaisquer áreas de não conformidade e tomem medidas corretivas para garantir a adesão às normas.

Auditorias e relatórios simplificados: O gêmeo digital também facilita a realização de auditorias e a elaboração de relatórios de conformidade. A plataforma pode gerar relatórios detalhados e precisos com base nos dados coletados durante as inspeções, simplificando o processo de auditoria e garantindo que a documentação esteja em conformidade com as exigências regulatórias.

Melhoria contínua e adaptação: À medida que as normas e regulamentações evoluem, o gêmeo digital pode ser atualizado para refletir as mudanças nos requisitos. Isso permite que a plataforma se adapte continuamente às novas exigências e garanta que as inspeções sejam planejadas e executadas de acordo com as normas vigentes.

Em suma, o gêmeo digital é uma ferramenta valiosa para avaliar a conformidade das inspeções e planejar inspeções de acordo com os requisitos normativos. Ao garantir a conformidade e minimizar riscos, o gêmeo digital contribui para a manutenção da integridade dos ativos e a promoção de um ambiente de trabalho seguro e eficiente.

Intervenções

Lembrando, o processo inicia com a inserção de dados de inspeções humanas, sensores e drones no gêmeo digital da ponte para então se prever a degradação ao longo do tempo e o risco de falhas decorrente dessa degradação apontando então as áreas críticas.

As áreas críticas encontradas devem ser inspecionadas com maior frequência ou submetidas a ações de mitigação de riscos ou por fim reparos. A decisão entre um tipo de ação ou outro deve se dar com base no nível de risco encontrado em cada área, assim como a melhor opção para redução de custos em cada caso.

Uma vez que essas ações sejam implementadas recupera-se a condição de operação segura.

O gêmeo digital define essas ações assim como controla a sua efetiva implementação gerando mensagens de alerta para sua execução e enviando dados para outros sistemas para compra de materiais e execução de serviços.

Gestão de mudanças

A gestão de mudanças é um aspecto crucial no desenvolvimento de gêmeos digitais de pontes, uma vez que o processo de criação desses modelos pode conter discrepâncias devido a projetos executados de forma diferente do projetado, reparos

ou modificações ao longo da vida útil da ponte, ou mesmo erros humanos na interpretação de desenhos.

Para minimizar essas discrepâncias, é possível utilizar técnicas de escaneamento a laser ou fotografia da estrutura para criar um modelo mais preciso. No entanto, erros podem persistir e é fundamental utilizar as próprias inspeções para detectar e corrigir essas discrepâncias.

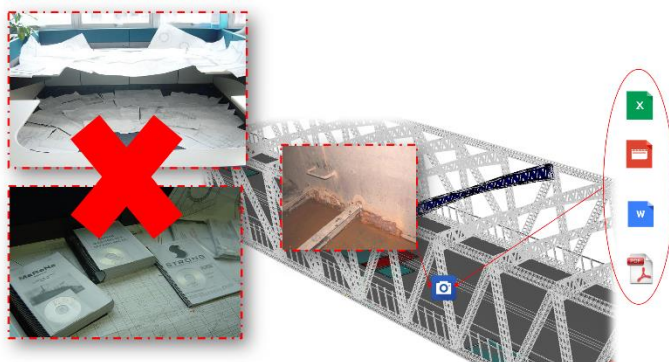
Para isso, é importante que o gêmeo digital tenha a capacidade de acompanhar o inspetor durante o serviço de inspeção e relatar quaisquer diferenças encontradas para que o modelo seja atualizado e aprimorado. Esse processo de atualização do modelo deve ser cuidadosamente gerenciado para evitar a inserção de erros em modelos corretos.

O processo de atualização do modelo geralmente envolve um processo de aprovação, no qual as alterações propostas são revisadas e aprovadas antes de serem incorporadas ao modelo. Isso ajuda a garantir que o modelo permaneça preciso e atualizado ao longo do tempo, o que é fundamental para a tomada de decisões de manutenção e reparo.

Resumindo, a gestão de mudanças é um aspecto importante no desenvolvimento e atualização de gêmeos digitais de pontes. É fundamental utilizar as próprias inspeções para detectar e corrigir erros. O processo de atualização do modelo deve ser cuidadosamente gerenciado para evitar a inserção de erros em modelos corretos, garantindo a precisão e atualização do modelo ao longo do tempo.

Gestão de documentos

A reunião de todos os documentos relativos a uma ponte no gêmeo digital é um aspecto crucial para a gestão eficaz da ponte. Isso permite que os gestores tenham acesso a uma ampla variedade de informações relevantes para a tomada de decisões de manutenção, reparo e gerenciamento de riscos.



Os documentos que devem ser incluídos no banco de dados do gêmeo digital da ponte incluem projetos, relatórios de inspeção, resultados de ensaios, informações de desempenho estrutural, informações de manutenção, informações de reparo, dados de carga e outras informações relevantes.

A reunião de todos os documentos no gêmeo digital da ponte permite uma melhor colaboração entre as equipes de gerenciamento, engenharia e manutenção. Com todas as informações relevantes disponíveis em um único local, os membros da equipe podem compartilhar informações de forma mais eficaz e tomar decisões informadas e coordenadas.

Colaboração entre departamentos e com prestadores de serviços

O gêmeo digital desempenha um papel crucial na promoção da colaboração entre departamentos e prestadores de serviços, permitindo o compartilhamento eficiente de informações e a otimização do gerenciamento de ativos. Essa abordagem integrada facilita a comunicação, a tomada de decisões e a resolução de problemas em tempo real, proporcionando inúmeros benefícios para as organizações e seus parceiros.

Centralização e compartilhamento de informações: O gêmeo digital funciona como uma plataforma centralizada que consolida dados e informações de diversos departamentos e prestadores de serviços. Essa centralização facilita o acesso a informações atualizadas e relevantes, permitindo que as partes interessadas tomem decisões informadas e colaborem de maneira eficaz.

Comunicação aprimorada: A utilização de gêmeos digitais melhora a comunicação entre os departamentos e com prestadores de serviços, proporcionando uma linguagem comum e um ponto de referência para discussões e análises. Com a visualização dos ativos em tempo real e o acesso a dados históricos, os envolvidos podem se comunicar de forma mais eficiente e tomar decisões em conjunto.

Resolução de problemas colaborativa: Ao identificar anomalias ou questões que exigem intervenção, o gêmeo digital permite a colaboração entre os departamentos e prestadores de serviços na busca por soluções eficientes. Essa abordagem colaborativa fomenta a inovação e a troca de conhecimentos, resultando em melhorias significativas no gerenciamento de ativos e na resolução de problemas.

Monitoramento e acompanhamento conjunto: Com o uso de gêmeos digitais, os departamentos e prestadores de serviços podem monitorar e acompanhar o desempenho dos ativos em tempo real. Isso permite uma colaboração mais próxima na identificação de tendências, na análise de dados e no planejamento de ações preventivas e corretivas.

Eficiência no gerenciamento de projetos: O gêmeo digital facilita a coordenação de projetos entre departamentos e prestadores de serviços, proporcionando uma visão clara das tarefas, responsabilidades e prazos. Essa visibilidade ajuda a garantir que os projetos sejam executados de forma eficiente e dentro do cronograma estabelecido.

Redução de custos e otimização de recursos: A colaboração efetiva entre departamentos e prestadores de serviços, facilitada pelo gêmeo digital, resulta na otimização do uso de recursos e na redução de custos. A capacidade de identificar rapidamente problemas e implementar soluções colaborativas minimiza o tempo de inatividade e os custos associados à manutenção e reparo de ativos.

Planejamento de emergência e resposta a incidentes

Os gêmeos digitais têm se mostrado ferramentas valiosas no planejamento de emergência e na resposta a incidentes, como desastres naturais ou falhas

estruturais. Ao fornecer informações em tempo real e permitir a simulação de cenários, os gêmeos digitais auxiliam na tomada de decisões rápidas e eficientes em situações críticas.

Monitoramento e detecção em tempo real: Os gêmeos digitais coletam e processam dados em tempo real de sensores e sistemas integrados aos ativos físicos, possibilitando o monitoramento contínuo das condições e desempenho. Isso permite a detecção precoce de sinais de problemas emergentes ou mudanças nas condições que podem levar a incidentes, possibilitando uma resposta rápida e eficaz.

Simulação de cenários de emergência: Com a capacidade de criar modelos digitais precisos dos ativos e seu ambiente, os gêmeos digitais permitem a simulação de cenários de emergência, como inundações, terremotos ou falhas estruturais. Essas simulações ajudam a identificar vulnerabilidades, avaliar riscos e desenvolver estratégias de resposta adequadas.

Planejamento e coordenação de recursos: Os gêmeos digitais podem ser usados para planejar e coordenar a alocação de recursos em situações de emergência, como pessoal de resgate, equipamentos e suprimentos. Ao visualizar a situação em tempo real e simular diferentes abordagens, os tomadores de decisão podem determinar a melhor estratégia para mobilizar e distribuir recursos de forma eficiente.

Comunicação e colaboração aprimoradas: Em situações de emergência, a comunicação clara e eficiente entre as partes interessadas é fundamental. Os gêmeos digitais fornecem uma plataforma comum para compartilhar informações, coordenar ações e tomar decisões conjuntas, melhorando a colaboração entre equipes de emergência, autoridades locais e prestadores de serviços.

Avaliação e recuperação pós-incidente: Após a ocorrência de um incidente, os gêmeos digitais podem ser usados para avaliar os danos, identificar áreas críticas e planejar a recuperação. Isso inclui a priorização de reparos, a estimativa de custos e a coordenação de esforços de reconstrução, garantindo uma recuperação rápida e eficiente.

Preparação e treinamento: Os gêmeos digitais também podem ser utilizados para fins de treinamento e preparação para situações de emergência. Ao simular cenários realistas, os profissionais envolvidos podem praticar suas habilidades, aprender a tomar decisões rápidas e eficientes e melhorar seu desempenho em situações reais.

Os gêmeos digitais oferecem uma série de benefícios no planejamento de emergência e na resposta a incidentes, como detecção precoce, simulação de cenários, coordenação de recursos, comunicação aprimorada e avaliação pós-incidente. Ao adotar essa abordagem inovadora, as organizações podem melhorar a sua capacidade de lidar com situações de emergência e garantir uma resposta rápida e eficiente aos incidentes.

Redução da Exposição ao Risco

A utilização de gêmeos digitais na inspeção de infraestruturas, como pontes e outras construções, tem o potencial de reduzir significativamente a exposição dos inspetores a riscos associados a essas atividades. Ao implementar essa tecnologia, é possível melhorar a segurança dos profissionais envolvidos, aumentar a eficiência e minimizar os riscos.

Redução da necessidade de inspeções físicas: Com a utilização de gêmeos digitais, é possível obter informações detalhadas sobre a condição e o desempenho das infraestruturas sem a necessidade de inspeções físicas frequentes. Isso diminui a exposição dos inspetores a riscos, como quedas de altura, acidentes de trânsito e condições climáticas adversas.

Monitoramento remoto e manutenção preditiva: Os gêmeos digitais coletam e processam dados de sensores e sistemas integrados em tempo real, permitindo o monitoramento remoto e a detecção de problemas emergentes. Isso possibilita a realização de manutenção preditiva, evitando inspeções desnecessárias e reduzindo a exposição dos inspetores a riscos.

Simulação e planejamento de inspeções: Ao criar modelos digitais precisos das infraestruturas, os gêmeos digitais permitem a simulação de diferentes cenários de inspeção e a avaliação dos riscos associados. Isso ajuda a planejar inspeções de maneira mais segura e eficiente, garantindo que os inspetores estejam bem preparados e cientes dos possíveis perigos.

Treinamento e capacitação em ambiente virtual: Os gêmeos digitais também podem ser utilizados como uma ferramenta de treinamento e capacitação para os inspetores, permitindo que eles pratiquem suas habilidades em um ambiente virtual seguro antes de realizar inspeções físicas. Isso ajuda a aumentar a conscientização sobre os riscos e a melhorar a segurança durante as atividades de inspeção.

Colaboração e compartilhamento de informações: Os gêmeos digitais facilitam a colaboração e o compartilhamento de informações entre inspetores, engenheiros e outros profissionais envolvidos no processo de inspeção e manutenção. Isso permite a identificação e a comunicação de riscos potenciais de forma mais eficiente, garantindo que as medidas de segurança adequadas sejam implementadas.

Adaptação às condições e mudanças no ambiente: Os gêmeos digitais podem ser atualizados em tempo real para refletir as condições e mudanças no ambiente, como o desgaste dos materiais ou a ocorrência de eventos naturais. Isso ajuda a garantir que os inspetores estejam sempre cientes dos riscos e possam tomar decisões informadas durante as atividades de inspeção.

Integrações com outros sistemas

A integração do gêmeo digital com outros sistemas e serviços na internet é um aspecto importante para maximizar seu potencial. Associar informações, como condições climáticas e marés, enriquece a funcionalidade e utilidade do gêmeo digital, tornando-o uma ferramenta valiosa para diversas aplicações.

Coleta de dados em tempo real: A integração do gêmeo digital com serviços externos permite que ele colete e incorpore dados em tempo real, como previsões climáticas, condições de marés, tráfego e outras informações relevantes. Esses dados podem ser usados para antecipar e planejar a manutenção, bem como para identificar e avaliar os impactos desses fatores nas pontes.

Análise avançada e simulações: Ao se conectar a outros sistemas, o gêmeo digital pode realizar análises avançadas e simulações, como a modelagem do impacto das mudanças climáticas, eventos extremos e ação das marés nas pontes. Isso auxilia na identificação de áreas vulneráveis, no planejamento de ações preventivas e na elaboração de estratégias de adaptação.

Otimização do gerenciamento e manutenção: A integração do gêmeo digital com sistemas de gerenciamento de ativos e manutenção permite uma abordagem mais eficiente e proativa para a manutenção das pontes. Isso pode incluir a identificação de componentes que necessitam de reparos, a programação de inspeções e a alocação de recursos de forma mais eficaz.

Colaboração entre partes interessadas: A capacidade de se interligar a outros sistemas permite que o gêmeo digital facilite a colaboração entre as partes interessadas, como engenheiros, inspetores, gerentes de projetos e autoridades reguladoras. Isso pode melhorar a comunicação, a tomada de decisões e a coordenação entre as equipes envolvidas no gerenciamento da infraestrutura.

Padronização e interoperabilidade: A integração do gêmeo digital com outros sistemas e serviços requer a adoção de padrões e protocolos comuns para garantir a interoperabilidade e a troca eficiente de informações. Isso pode incluir o uso de formatos de dados abertos e padronizados, bem como o desenvolvimento de APIs e interfaces de usuário compatíveis.

Aprendizado de máquina e inteligência artificial: A conexão do gêmeo digital a outros sistemas e serviços na internet pode permitir a aplicação de algoritmos de aprendizado de máquina e inteligência artificial para analisar e prever tendências, identificar anomalias e otimizar a tomada de decisões.

Segurança e privacidade: A integração do gêmeo digital com outros sistemas e serviços na internet exige medidas de segurança e privacidade apropriadas para proteger os dados e garantir a confidencialidade das informações. Isso pode incluir a criptografia de dados, autenticação de usuário e monitoramento contínuo de ameaças à segurança.

Ao desenvolver um gêmeo digital capaz de se interligar a outros sistemas e serviços na internet, é possível aproveitar ao máximo o potencial dessa tecnologia e melhorar significativamente o gerenciamento e a manutenção de infraestruturas. Com a capacidade de acessar informações em tempo real, analisar dados de diferentes fontes e colaborar com diversas partes interessadas, os profissionais envolvidos no gerenciamento de infraestruturas podem tomar decisões mais informadas e eficientes.

Além disso, a integração com outros sistemas e serviços oferece oportunidades para a inovação e o desenvolvimento de novas soluções e abordagens para enfrentar os desafios crescentes associados à manutenção e sustentabilidade das pontes. Isso inclui a adaptação às mudanças climáticas, a mitigação dos impactos de eventos extremos e a preservação dos recursos naturais e do meio ambiente.

Em suma, a capacidade de se interligar a outros sistemas e serviços na internet é um aspecto crucial para aprimorar a eficácia dessa tecnologia. Essa abordagem integrada permite uma melhor compreensão das condições e fatores que afetam as pontes, o que resulta em melhor gerenciamento, manutenção e tomada de decisão. Com o tempo, a integração bem-sucedida do gêmeo digital pode levar a melhorias significativas na resiliência e sustentabilidade das pontes.

Implantação progressiva

As etapas a seguir delineiam um roteiro de implantação para gêmeos digitais, visando aprimorar a inspeção, manutenção e reparo de pontes. Estas etapas devem ser implementadas de maneira escalonada, conforme a maturidade organizacional em relação à tecnologia aumenta e os profissionais envolvidos se ajustam ao novo processo. A adoção bem-sucedida desta abordagem possibilitará um aprimoramento contínuo na gestão da integridade estrutural das pontes.



A sequência ideal das etapas não precisa ser exatamente a mesma, já que deve priorizar aquelas que agregam valor de forma mais acelerada e que estejam mais alinhadas com o conhecimento prévio dos profissionais envolvidos. À medida que a empresa progride na adoção da tecnologia, maior será o valor agregado ao negócio.

É crucial optar por uma solução que já possua a tecnologia desenvolvida para todas as etapas, pois a adoção de uma tecnologia mais simples, que atenda apenas a uma etapa específica, poderá aumentar o custo total devido aos gastos com integrações, treinamentos e, eventualmente, até descarte da solução anterior. Uma solução robusta estará naturalmente à frente das necessidades da empresa.

Além disso, é importante ter uma visão clara do futuro para tomar a decisão correta no presente. Neste momento, é fundamental compreender que nossa expectativa de evolução é linear, enquanto a tecnologia avança de forma exponencial. Essa consideração deve ser levada em conta durante a avaliação das soluções disponíveis, garantindo assim um investimento sólido e um progresso sustentável na gestão da integridade das pontes.

Construção dos modelos de pontes:

- a. Criar modelos digitais precisos das pontes existentes.
- b. Incorporar informações relevantes sobre a estrutura, materiais e condições atuais.
- c. Informações se tornam organizadas e padronizadas

Treinamento e capacitação:

- a. Treinar técnicos e engenheiros da operadora do ativo e das empresas de inspeção.
- b. Incentivar e reforçar a importância da mudança de hábitos e consolidação do novo processo.

Implementação das inspeções humanas:

- a. Utilizar o sistema de gêmeos digitais no planejamento e execução das inspeções.
- b. Registrar os dados de inspeções no sistema.
- c. Ajustar o modelo com base nas descobertas das inspeções realizadas (“as built e as is”).

Avaliação de risco e priorização de inspeções:

- a. Utilizar o gêmeo digital para identificar níveis de risco e priorizar novas inspeções.
- b. Adaptar-se ao novo processo conforme mais modelos de pontes são adicionados.

Prescrição e acompanhamento de mitigações e reparos:

- a. Estabelecer um processo eficiente de identificação e acompanhamento de ações corretivas.

Gestão de documentos e integração com outros sistemas:

- a. Utilizar o gêmeo digital para gerenciar documentos relacionados às pontes e inspeções.
- b. Integrar o gêmeo digital com outros sistemas, como ordens de serviço, compras de materiais e manutenção.

Instalação de sensores:

- a. Instalar sensores nas pontes para monitorar condições em tempo real e detectar comportamentos anormais.
- b. Reduzir a necessidade de inspeções frequentes e melhorar a eficiência do processo.

Análise de dados e melhoria contínua:

- a. Utilizar os dados coletados pelo gêmeo digital e sensores para identificar padrões e tendências.
- b. Implementar melhorias no processo de inspeção, manutenção e reparo com base nas informações obtidas.

Comunicação e colaboração:

- a. Promover a comunicação eficiente entre as equipes envolvidas no processo.
- b. Facilitar a colaboração entre as partes interessadas, compartilhando informações e atualizações do gêmeo digital.

Revisão e ajuste do processo:

- a. Monitorar e avaliar continuamente o processo de implantação dos gêmeos digitais.
- b. Identificar áreas de melhoria e ajustar o processo conforme necessário, garantindo a eficiência e eficácia na transformação digital da inspeção, manutenção e reparo de pontes.

Tecnologias convergentes

Os gêmeos digitais são o resultado da convergência de diversas tecnologias. A seguir vamos explicar cada uma delas.

Computação na nuvem

A computação na nuvem é um modelo de fornecimento de serviços de computação, como armazenamento, processamento e acesso a aplicativos, por meio da internet. Esses serviços são oferecidos por provedores de nuvem, que mantêm data centers de alta capacidade para gerenciar a infraestrutura e os recursos necessários para suportar esses serviços.

Os benefícios da computação na nuvem incluem:

Integração: as soluções que rodam na nuvem podem interagir mais facilmente com outras soluções complementares aumentando muito a capacidade da solução com um todo. Elas também podem ser acessadas mais facilmente pelos diversos departamentos e parceiros externos que atuam na manutenção da ponte.

Escalabilidade: os serviços de computação na nuvem são altamente escaláveis, permitindo que as empresas aumentem ou diminuam a capacidade de acordo com suas necessidades.

Flexibilidade: os serviços de computação na nuvem permitem que os usuários acessem seus dados e aplicativos de qualquer lugar, em qualquer dispositivo, desde que haja uma conexão com a internet.

Redução de custos: os serviços de computação na nuvem eliminam a necessidade de investimentos em hardware, software e infraestrutura de TI, reduzindo significativamente os custos de manutenção e atualização de sistemas.

Segurança: os provedores de nuvem oferecem recursos de segurança avançados, como criptografia de dados e proteção contra ameaças cibernéticas, para garantir a segurança dos dados armazenados na nuvem.

Facilidade de gerenciamento: os serviços de computação na nuvem são gerenciados pelos provedores de nuvem, o que significa que as empresas não precisam se preocupar com a manutenção ou atualização de sistemas e softwares.

Eficiência: a computação na nuvem permite que as empresas reduzam o tempo e os custos associados à implementação de novos projetos e aplicativos, permitindo que sejam entregues mais rapidamente ao mercado.

Computação na borda e na névoa

Computação na borda (edge computing) e computação em névoa (fog computing) são dois conceitos que buscam trazer o processamento de dados para mais perto dos dispositivos de borda, como sensores e dispositivos de Internet das Coisas (IoT). Isso significa mais perto da ponte no nosso caso específico. O objetivo é reduzir o tráfego de dados pela internet e produzir respostas mais rápidas. Embora sejam semelhantes em muitos aspectos, existem algumas diferenças entre essas abordagens:

Localização do processamento:

Computação na borda: O processamento ocorre diretamente nos dispositivos de borda ou em um gateway próximo a eles. Isso permite que os dados sejam

processados em tempo real, reduzindo a latência e melhorando o desempenho de aplicações sensíveis ao tempo.

Computação em névoa: O processamento é distribuído entre os dispositivos de borda e os centros de dados na nuvem. Isso permite uma maior flexibilidade, pois os recursos de processamento podem ser alocados conforme necessário em toda a infraestrutura de TI, incluindo dispositivos de borda, gateways e centros de dados.

Escopo:

Computação na borda: O foco principal da computação na borda é o processamento de dados em tempo real, principalmente para aplicações com baixa tolerância a latência. A computação na borda geralmente lida com um volume menor de dados e é mais adequada para cenários em que a análise de dados em tempo real é crucial.

Computação em névoa: A computação em névoa abrange um espectro mais amplo de cenários e é mais flexível em termos de gerenciamento de recursos de processamento e armazenamento. A computação em névoa é adequada para cenários em que é necessário lidar com grandes volumes de dados e fornecer análises em tempo real, bem como para aplicações que requerem processamento e armazenamento distribuídos.

Hierarquia:

Computação na borda: A computação na borda tem uma hierarquia mais plana e geralmente consiste em dispositivos de borda e gateways que se conectam diretamente à nuvem ou a um centro de dados centralizado.

Computação em névoa: A computação em névoa possui uma hierarquia mais complexa e distribuída, envolvendo dispositivos de borda, gateways, nós de computação em névoa e centros de dados na nuvem. Isso permite uma maior distribuição de recursos e redundância, o que pode melhorar a resiliência e a confiabilidade do sistema.

Internet das Coisas - IoT

A ampliação do uso de sensores por diversas indústrias vem propiciando o aumento do volume de opções e redução de custos e assim viabilizando cada vez mais a sua adoção.

A Internet das Coisas (IoT) é uma tecnologia que permite a conexão e a comunicação entre dispositivos, objetos e sistemas por meio da internet. No contexto das pontes e dos gêmeos digitais, a IoT pode ser utilizada para coletar dados em tempo real por meio de sensores instalados na estrutura da ponte. Esses dados podem ser transmitidos pela internet para um sistema centralizado de gerenciamento de dados, onde são armazenados e processados para alimentar o modelo de gêmeo digital da ponte.

Os sensores IoT podem ser instalados em várias partes da ponte para coletar diferentes tipos de dados, como dados de deformação, vibração, temperatura,

umidade, carga, entre outros. Esses dados são coletados continuamente e transmitidos para o sistema centralizado de gerenciamento de dados, onde são processados em tempo real e integrados ao modelo de gêmeo digital da ponte.

Inteligência artificial – IA

A Inteligência Artificial (IA) é uma área da computação que busca desenvolver algoritmos e sistemas capazes de realizar tarefas que, até então, requeriam a inteligência humana. A partir de técnicas como machine learning, redes neurais e processamento de linguagem natural, a IA tem sido utilizada em diversas aplicações, incluindo a detecção e classificação de anomalias em fotos e a previsão da evolução da degradação com base em dados históricos de inspeção.

Na detecção e classificação de anomalias em fotos, a IA pode ser utilizada para identificar automaticamente problemas estruturais em pontes, tais como trincas, corrosão, deformação, deslocamento, entre outros. Com isso, é possível analisar de forma mais rápida e precisa o estado de conservação da ponte. Para tanto, é necessário treinar os algoritmos de IA utilizando um grande volume de imagens com anomalias previamente identificadas por especialistas.

Já na previsão da evolução da degradação, a IA pode ser utilizada para analisar dados históricos de inspeção da ponte e prever o comportamento futuro da estrutura. Isso pode ser feito através do uso de técnicas de machine learning, que analisam os dados de inspeção para identificar padrões e tendências. Com essa análise, é possível prever com maior precisão a evolução da degradação da ponte.

Análise por Elementos Finitos – FEA

A Análise por elementos finitos (FEA) é uma técnica de simulação numérica que permite analisar o comportamento estrutural de objetos complexos, como pontes, em diferentes condições de carga e degradação e prever a sua resistência estrutural.

A FEA é baseada na subdivisão da estrutura em elementos finitos, que são pequenas partes da estrutura que são tratadas como entidades individuais. Cada elemento é caracterizado por propriedades mecânicas específicas, como rigidez, densidade e capacidade de carga, que são determinadas a partir das propriedades do material e das dimensões da estrutura. A partir disso, é possível aplicar as cargas na estrutura e simular como ela irá se comportar em diferentes situações.

No contexto das pontes, a FEA pode ser utilizada para a identificação de pontos críticos e a determinação da capacidade de carga da estrutura. Para tanto, é necessário modelar a geometria da ponte, as propriedades mecânicas dos materiais utilizados na sua construção e as cargas esperadas.

Drones

Drones, também conhecidos como Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs), são dispositivos eletrônicos controlados remotamente que são amplamente utilizados para a inspeção de pontes e outras infraestruturas. No contexto da inspeção de

pontes, os drones podem ser equipados com uma variedade de sensores, câmeras e outros dispositivos que permitem a coleta de informações precisas sobre o estado da estrutura.

Os drones são capazes de sobrevoar a ponte e capturar imagens de alta resolução que podem ser usadas para identificar anomalias e defeitos na estrutura, tais como trincas, corrosão, desgaste ou deformação. Além disso, os drones também podem ser equipados com sensores de temperatura, sensores de vibração e outros dispositivos que permitem a detecção de problemas invisíveis a olho nu.

Uma das principais vantagens do uso de drones na inspeção de pontes é a redução do risco para os inspetores, que muitas vezes precisam acessar áreas perigosas e difíceis de alcançar para realizar a inspeção. Além disso, o uso de drones permite que as inspeções sejam realizadas de maneira mais rápida, precisa e econômica, reduzindo os custos associados à manutenção e reparo de pontes.

Big Data

Big data refere-se a um grande volume de dados, sejam eles estruturados ou não-estruturados, que podem ser analisados para extrair insights valiosos e informações úteis. No contexto de gêmeos digitais, o big data pode ser utilizado para alimentar os modelos de simulação e previsão, fornecendo informações precisas e atualizadas sobre o comportamento da ponte ao longo do tempo.

Os gêmeos digitais são alimentados com uma grande quantidade de dados coletados a partir de diversas fontes, como inspeções visuais, sensores, drones, relatórios de manutenção e reparo, entre outros. Esses dados são analisados por algoritmos de machine learning e outras técnicas de inteligência artificial para criar modelos precisos da ponte e prever o seu comportamento futuro.

O big data também permite que os gêmeos digitais sejam atualizados constantemente com novos dados, tornando as previsões e simulações ainda mais precisas ao longo do tempo.

Bibliografia

Ribeiro, D. M.; Futai, M. M.; Bittencourt, T.; Carvalho, H. (2020). Challenges in the application of digital transformation to inspection and maintenance of bridges. In: IABMAS 2020: Proceedings of the International Association for Bridge Maintenance and Safety.

Witte, C. C.; Ribeiro, D. M. (2012). A statistical time dependent degradation curve analysis for marine structures. OMAE2012-84137. In: Proceedings of the ASME 2012 31st International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering (OMAE2012), July 1-6, Rio de Janeiro, Brazil.

Witte, C. C.; Ribeiro, D. M. (2012). Structural integrity management: Painting predictive control. SPE 155857-PP. In: Proceedings of the SPE International Conference and Exhibition on Oilfield Corrosion, 28-29 May, Aberdeen, UK.

Ribeiro, D. M.; Witte, C. C.; Grossman, B. (2011). Avoiding disasters: Evolution in integrity and maintenance management. In: Proceedings of the 30th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering (OMAE2011), June 19-24, Rotterdam, The Netherlands.

Ribeiro, D. M. (2008). Hull maintenance software pays dividends on Petrobras FPSOs. Offshore Engineer.

Ribeiro, D. M. (2007). Improvements in hull integrity by the use of 3rd generation maintenance management software. In: Proceedings of the International Conference on Computer Applications in Shipbuilding (ICCCAS).

Ribeiro, D. M. (2002). Sistema de Gestão da manutenção de estruturas. In: Anais do Congresso da Associação Brasileira de Manutenção e Gestão de Ativos (ABRAMAN).

Ribeiro, D. M. (2002). Sistema de gestão da manutenção de estruturas. Revista TN Petróleo.

Ribeiro, D. M.; Correia, C. A. dos R. (2000). A experiência de cinco anos de aplicação de um software de manutenção estrutural. In: Anais do Congresso da Sociedade Brasileira de Engenharia Naval (SOBENA).

Ribeiro, D. M. (2001). Como a modernização da gestão das empresas armadoras pode reduzir o risco de poluição do mar. In: Anais do Congresso da Sociedade Brasileira de Engenharia Naval (SOBENA).

Ribeiro, D. M.; Albrecht, C. H. (1994). Sistema integrado de manutenção do casco do navio. In: Anais do Congresso da Sociedade Brasileira de Engenharia Naval (SOBENA), [Local da publicação: Editora, se disponível].

Ribeiro, D. M. (1993). Metodologia de manutenção preditiva do casco do navio. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Oceânica, COPPE - Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Rio de Janeiro, Brasil.