

PERGUNTAS TÉCNICAS

ENVIE SUA PERGUNTA PARA O E-MAIL:

fabio@ibracon.org.br

O QUE SÃO OS GÊMEOS DIGITAIS? DEFINA E CARACTERIZE A TECNOLOGIA.

Um Gêmeo Digital é uma representação digital de um objeto, sistema ou processo do mundo real, conectada à sua contraparte física por meio de dados e informações. A ideia central é criar, no ambiente virtual, uma representação capaz de acompanhar e reproduzir aspectos relevantes do que acontece no mundo físico.

Michael Grieves, um dos principais formuladores do conceito, descreve o Gêmeo Digital a partir de três componentes básicos: o objeto físico, o objeto digital correspondente e a conexão entre os dois. Os dados obtidos no mundo físico alimentam o ambiente digital, enquanto as análises e informações produzidas no ambiente virtual podem ser utilizadas para compreender, prever ou orientar ações sobre o sistema real.

Assim, um Gêmeo Digital não é simplesmente um modelo 3D ou uma representação gráfica. Sua principal característica é a integração entre o físico e o digital. Dependendo da aplicação, essa conexão pode permitir o acompanhamento do estado atual de um sistema, a realização de simulações, a previsão de comportamentos futuros e o apoio à tomada de decisão. A frequência de atualização, o volume de dados e o nível de detalhamento do modelo dependem da finalidade para a qual o Gêmeo Digital foi desenvolvido. Grieves destaca, inclusive, que a sincronização pode ser periódica ou contínua, conforme o caso de uso. Assim, determinadas informações precisam estar disponíveis no “tempo certo”, e não necessariamente em tempo real.

QUANDO OS GÊMEOS DIGITAIS SURTIRAM? ONDE? EM QUAIS SETORES?

A origem conceitual costuma ser associada ao setor aeroespacial. Entre 1967 e 1972, durante o programa Apollo, a NASA

utilizava réplicas físicas das espaçonaves para simular condições de operação e solucionar problemas em solo. O episódio da Apollo 13 é um exemplo clássico desse princípio de “ter um gêmeo” do sistema real para testar soluções sem intervir diretamente no ativo em operação.

A formulação propriamente digital começou a ganhar forma no início dos anos 2000. Em 2002, Michael Grieves apresentou o conceito no contexto do Gerenciamento do Ciclo de Vida do Produto (PLM), propondo a integração entre um sistema físico e sua representação digital. Em 2012, a NASA incorporou formalmente o conceito ao seu roadmap tecnológico, em conjunto com pesquisas da Força Aérea dos Estados Unidos, com foco em aeronaves, monitoramento de desempenho e manutenção preditiva.

A partir daí, os Gêmeos Digitais se difundiram para a manufatura, energia, robótica, logística, cidades inteligentes, transportes e, mais recentemente, para a construção civil e a gestão de infraestruturas.

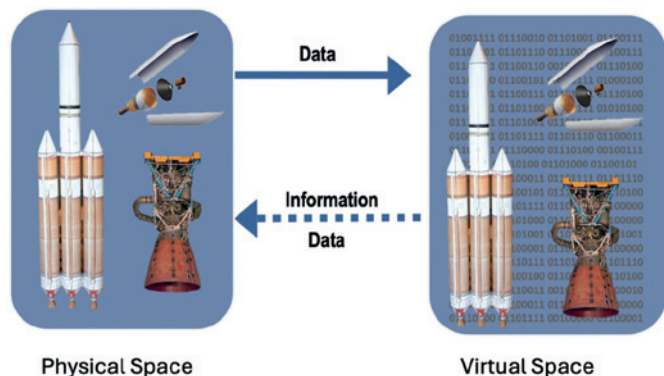
QUANDO OS GÊMEOS DIGITAIS FORAM PRIMEIRAMENTE APLICADOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL? ONDE? EM QUAIS OBRAS? PARA QUAIS FINALIDADES?

Não há um único projeto universalmente reconhecido como a primeira aplicação de Gêmeos Digitais na construção civil. Isso ocorre porque a tecnologia surgiu no setor de forma gradual, a partir da integração de ferramentas que já vinham sendo utilizadas separadamente, principalmente BIM, sensores, Internet das Coisas (IoT), computação em nuvem e sistemas de simulação. Por isso, alguns trabalhos anteriores já apresentavam características hoje associadas aos Gêmeos Digitais, mesmo sem utilizar essa denominação.

Em 2018, por exemplo, Li et al. desenvolveram em Hong Kong uma plataforma para acompanhar a montagem de componentes pré-fabricados no canteiro, conectando o modelo BIM às informações coletadas em tempo real por tecnologias IoT e RFID.

No campo das pontes, 2019 também é um marco importante. Shim et al. publicaram uma das primeiras aplicações do conceito de Gêmeo Digital especificamente voltada à manutenção de pontes de concreto protendido. O trabalho propôs integrar um modelo tridimensional da ponte com um modelo da condição real obtido por técnicas como escaneamento 3D, imagens de drones e processamento de imagens. A finalidade era registrar a evolução dos danos, atualizar as informações de inspeção e fornecer uma base mais confiável para manutenção preventiva e tomada de decisão ao longo da vida útil da estrutura.

Assim, se for necessário estabelecer um marco temporal, eu diria que a incorporação dos Gêmeos Digitais à construção civil ocorre entre 2018 e 2019. Em 2018 já existiam aplicações que reuniam BIM e dados provenientes do mundo físico em tempo real, mas ainda eram apresentadas principalmente como sistemas BIM-IoT. A partir de 2019, o termo Gêmeo Digital passa a aparecer explicitamente em aplicações de edificações e obras



GRIEVES, Michael. *Digital Twin Phases and Futures. Digital Engineering*, v. 6, 2025, 100053, p. 2

de infraestrutura, inicialmente com foco em monitoramento, gestão de ativos, operação e manutenção.

Referências

LI, C. Z.; XUE, F.; LI, X.; HONG, J.; SHEN, G. Q. *An Internet of Things-enabled BIM platform for on-site assembly services in prefabricated construction. Automation in Construction*, v. 89, p. 146-161, 2018. DOI: 10.1016/j.autcon.2018.01.001.

SHIM, C. S.; DANG, N. S.; LON, S.; JEON, C. H. *Development of a bridge maintenance system for prestressed concrete bridges using 3D digital twin model. Structure and Infrastructure Engineering*, v. 15, n. 10, p. 1319-1332, 2019. DOI: 10.1080/15732479.2019.1620789.

OS GÊMEOS DIGITAIS SÃO POSSÍVEIS SEM O BIM? COMO OS GÊMEOS DIGITAIS SE DIFERENCIAM DO BIM? COMO O BIM SE INTEGRA AOS GÊMEOS DIGITAIS? EXEMPLIFIQUE COM APLICAÇÃO EM OBRAS DE ARTE ESPECIAIS.

Conceitualmente, um Gêmeo Digital não depende obrigatoriamente do BIM. Ele pode utilizar diferentes tipos de modelos, como modelos geométricos, modelos numéricos por Elementos Finitos e modelos orientados por dados. Na engenharia de pontes, contudo, o BIM – e sua aplicação específica às pontes, o BrIM – é uma das bases mais úteis para organizar a geometria e as informações do ativo.

A diferença principal está na dinâmica da informação. O BIM tradicional representa a obra e concentra informações geométricas e semânticas, mas tende a ser um modelo mais estático e com fluxo de dados predominantemente unidirecional. O Gêmeo Digital acrescenta a conexão com a estrutura física: recebe dados de medições, sensores e inspeções, atualiza o estado representado e pode devolver informações para operação, manutenção e tomada de decisão.

Em uma ponte existente, por exemplo, a geometria real pode ser capturada com drone e laser scanner, transformada em nuvem de pontos e utilizada para reconstruir um modelo BIM/BrIM “as is (condição atual)”. Esse modelo pode ser associado a um modelo estrutural por Elementos Finitos e, posteriormente, alimentado com dados de sensores. Assim, o BIM funciona como uma importante camada de organização e visualização dentro de um sistema mais amplo de Gêmeo Digital.

COMO AS TECNOLOGIAS DO BIG DATA, INTERNET DAS COISAS, COMPUTAÇÃO EM NUVEM, DRONES, LASER SCANNING E INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL SÃO INTEGRADAS AOS GÊMEOS DIGITAIS? PARA QUÊ? EXEMPLIFIQUE COM SUAS APLICAÇÕES EM OBRAS DE ARTE ESPECIAIS, COMENTANDO SUAS FINALIDADES.

O Gêmeo Digital pode ser entendido como uma plataforma de integração. Cada tecnologia cumpre uma função diferente, e seu principal potencial está na integração entre essas ferramentas. Em uma OAE, essa integração pode ocorrer da seguinte forma:

Drones

Capturam imagens de grandes áreas e de regiões de difícil acesso. Pela fotogrametria, essas imagens podem gerar nuvens de pontos e modelos tridimensionais da condição atual da estrutura, além de apoiar inspeções visuais.

Laser scanning

Mede diretamente distâncias e ângulos e gera nuvens de pontos densas, com elevado controle geométrico. É particularmente útil para reconstrução “as-is”, comparação geométrica e identificação de alterações ao longo do tempo.

Internet das Coisas (IoT):

Conecta sensores e dispositivos instalados na ponte. Acelerômetros, extensômetros, sensores de temperatura, vento, umidade e sistemas de contagem de tráfego podem transmitir continuamente dados sobre carregamentos, ambiente e resposta estrutural.

Big Data

Organiza e permite explorar o grande volume de dados acumulados ao longo da vida da obra: inspeções, sensores, imagens, modelos, tráfego e histórico de manutenção.

Computação em nuvem

Fornece capacidade de armazenamento, processamento e acesso remoto, permitindo que grandes volumes de dados e modelos sejam consultados e processados por diferentes equipes e sistemas. Também favorece a escalabilidade do Gêmeo Digital conforme aumenta a quantidade de informações incorporadas.

Inteligência Artificial e Machine Learning

Podem identificar padrões, detectar anomalias, classificar danos, apoiar previsões e sugerir momentos mais adequados para intervenção, especialmente quando há séries históricas extensas de dados.

Além desses, eu também acrescentaria:

Edge Computing (computação de borda)

Complementa a computação em nuvem ao realizar parte do processamento próximo ao local onde os dados são gerados. Assim, informações críticas, como vibrações anormais ou sobrecargas, podem ser analisadas rapidamente, reduzindo o volume de dados transmitidos e o tempo de resposta do sistema. Essa característica é especialmente importante em aplicações de monitoramento estrutural e situações que exigem baixa latência.

Softwares e plataformas digitais

Softwares e plataformas digitais: são responsáveis por reunir e operacionalizar essas diferentes informações. Podem atuar na modelagem BIM/BrIM, processamento de nuvens de pontos, simulação estrutural, análise de dados, visualização e conexão com sensores e bancos de dados. Algumas plataformas são desenvolvidas especificamente para integrar essas funções em um ambiente de Gêmeo Digital, permitindo conectar modelos, simulações e dados de monitoramento. Sua tese, por exemplo, aborda desde softwares BIM e de análise numérica até plataformas integradoras de Gêmeos Digitais.

PAOLA GORKOS

PESQUISADORA NO LABORATÓRIO DE ENSAIOS E MODELOS ESTRUTURAIS (LEME) DA UFGS E DOCENTE NA UNIFTEC