

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA  
MBA EM GESTÃO DE PROCESSOS INDUSTRIAIS**

**IGOR WASZCZYNSKI**

**GÊMEO DIGITAL**

**MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO**

**CURITIBA**

**2022**

**IGOR WASZCZYNSKI**

## **GÊMEO DIGITAL**

Monografia apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Gestão de Processos Industriais do Curso de Especialização MBA em Gestão de Processos Industriais do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Msc. Daniel Baleiro

**CURITIBA**

**2022**



---

## TERMO DE APROVAÇÃO

### GÊMEO DIGITAL

POR

**IGOR WASZCZYNSKI**

monografia foi apresentada às **19h00** do dia **03 de Maio de 2023** como requisito parcial para a obtenção do título de Especialista em Gestão de Processos Industriais da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho **APROVADO**. (aprovado, aprovado com restrições, ou reprovado).

\_\_\_\_\_  
Prof<sup>(a)</sup>. Msc. Daniel Balieiro Silva

\_\_\_\_\_  
Prof<sup>(a)</sup>. Msc. José da Silva Maia

\_\_\_\_\_  
Prof<sup>(a)</sup>. Dr. Walter Denis Cruz Sanchez

Visto da coordenação:

\_\_\_\_\_  
Prof<sup>(a)</sup>. Msc. Daniel Balieiro Silva

O documento original encontra-se arquivado na Coordenação do Curso no Departamento Acadêmico de Eletrotécnica.

Ofereço este trabalho à meus pais, que sempre me apoiaram, incentivaram e investiram seus esforços, com o objetivo de me proporcionar um futuro melhor.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Professor Daniel Balieiro Silva, M. Eng<sup>o</sup>, pela dedicação, competência, respeito e paciência para que conseguíssemos finalizar o curso com sucesso apesar das dificuldades.

A todos os professores do curso que mesmo nos finais de semana se dispuseram a compartilhar seus conhecimentos conosco.

“Quando homem e máquina  
trabalham juntos, o mais  
importante não é a  
capacidade de um ou outro,  
mas a interação entre os dois”  
(Garry Kasparov)

## RESUMO

Waszczynski, Igor. **Gêmeo digital**. Monografia (MBA em Gestão de Processos Industriais- Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2022.

Gêmeo digital é um conceito que engloba um conjunto de tecnologias que buscam representar e reproduzir uma réplica atualizada e dinâmica de processos, ambientes ou produtos. O gêmeo digital promove a simulação do comportamento futuro do gêmeo físico a partir de dados coletados diretamente de sensores, máquinas e sistemas. Os resultados das simulações aliados a outras fontes de dados são utilizados para controlar de forma automática operações que buscam melhoria contínua, beneficiando assim todo o ecossistema produtivo.

Este trabalho visa apresentar os diversos campos no qual esse conceito pode ser aplicado, seus benefícios e algumas aplicações.

**Palavras-chave:** gêmeo-digital. inteligência artificial. internet das coisas.

## ABSTRACT

Waszczyński, Igor. **Digital twin**. Monografia (MBA em Gestão de Processos Industriais- Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2022).

Digital twin is a concept that includes a set of technologies that seek to represent and reproduce an up-to-date replica and dynamics of a processes, environment or product. The digital twin promotes the simulation of future behavior of the physical twin from data collected directly from sensors, machines and systems. The results of the simulations combined with other data sources are used to automatically control operations that seek continuous improvement, thus benefiting the entire ecosystem productive.

This paper aims to present the different fields in which this concept can be applied, its benefits and some applications..

**Keywords:** digital-twin. artificial intelligence. internet of things.

## LISTA DE SIGLAS

IoA	Internet of Abilities
IoT	Internet of Things
ML	Machine Learning
DT	Digital Twin
PLM	Product Lifecycle Management
AI	Artificial intelligence
GE	General Electric
IIoT	Industrial Internet of Things
ML	Machine Learning

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>14</b>
1.1 ORIGEM.....	14
1.2 CONCEITO.....	14
1.3 OBJETIVO.....	14
<b>2 FUNDAMENTOS.....</b>	<b>16</b>
2.1 EQUÍVOCOS DOS GÊMEOS DIGITAIS.....	16
2.2 ARQUITETURA DO GÊMEO DIGITAL.....	16
2.3 NÍVEIS DE COMPLEXIDADE.....	16
<b>3 FERRAMENTAS.....</b>	<b>18</b>
3.1 INFRAESTRUTURA COMPUTACIONA.....	18
3.2 TECNOLOGIAS IOT.....	18
3.3 PLATAFORMAS.....	18
3.4 INTERFACE HOMEM – MÁQUINA.....	19
<b>4 DESAFIOS.....</b>	<b>20</b>
4.1 MODELAGEM.....	20
4.2 PRIVACIDADE DE DADOS E SEGURANÇA.....	20
<b>5 APLICAÇÕES.....</b>	<b>21</b>
5.1 EDIFÍCIO INTELIGENTE - SMART BUILDING.....	21
5.2 SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL E AGRICULTURA.....	21
<b>6 CONCLUSÃO.....</b>	<b>22</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>23</b>

## 1 INTRODUÇÃO

À medida que os processos de fabricação estão se tornam cada vez mais digitais, o gêmeo digital está agora mais alcançável. Ao fornecer às empresas um acompanhamento completamente digital dos produtos, o gêmeo digital permite com que as empresas detectem problemas físicos mais cedo, prevejam resultados com mais precisão e criem produtos melhores (PARROTT; WARSHAW, 2017).

### 1.1 ORIGEM

O conceito de gêmeo digital foi originalmente proposto por John Vickers que trabalhava na NASA e Michael Grieves que na época ministrava o curso de gestão de ciclo de vida do produto Product Lifecycle Management ( PLM) na Universidade de Michigan em 2003 (GRIEVES; VICKERS, 2017). Naquele tempo Grieves descrevia a representação virtual do produto como "...relativamente novo e imaturo" e a coleta de dados sobre produtos físicos como "...limitada, coletada manualmente e principalmente em papel". Grieves e Vickers vislumbravam um mundo onde o modelo virtual de um produto iria fornecer as bases para o Digital Twin (DT ) como sendo uma representação virtual de um produto físico contendo informações sobre o referido produto (JONES et al., 2020).

No princípio, os gêmeos digitais eram utilizado apenas pelos militares da indústria aeroespacial (PURCELL; NEUBAUER, 2023). Entretanto devido sua grande versatilidade o DT atualmente está em um período de rápido desenvolvimento e expansão.

### 1.2 CONCEITO

O gêmeo digital é uma representação virtual do mundo real, onde entidades e processos estão sincronizado com frequências e fidelidade específicas. Os gêmeos digitais têm o potencial

de transformar o ambiente construído. Dados são informações; informação é inteligência; inteligência é poder (OLCOTT; MULLEN; SYSTEM, 2020).

É necessário estar alimentando a tecnologia dos gêmeos digitais constantemente com muitos dados, dados esses que devem ser fiéis à operação real e relevantes às operações que estão sendo analisadas. Tudo isso para que quando necessário as informações obtidas sejam fiéis proporcionando tomadas de decisões rápidas, inteligentes, precisas e eficientes.

É possível ter uma visão detalhada do desempenho atual e futuro se os dados com que o sistema está sendo alimentado é preciso e relevante. Avanços nas tecnologias de Artificial intelligence ( AI) e Internet of Things (IoT ) estão permitindo a extração de informações em tempo real de forma eficiente com a realização de análises e tendências.

Os gêmeos digitais estão evoluindo bastante desde o início de sua aplicação e podem ser classificados diferentemente dentro de vários níveis de complexidade, desde os nível de componente até o nível de processo.

### 1.3 OBJETIVO

Uma das atividades cotidianas dos engenheiros é analisar, encontrar informações e tentar melhorar seus processos. Com um gêmeo digital as informações são obtidas em tempo real, as análises, validações e seus resultados podem ser obtidos mais rapidamente. Essa ferramenta visa então agilidade, eficiência e praticidade. De acordo com o grupo AVEVA o gêmeo digital reduz as despesas de uma empresa em até 30% , aumenta o rendimento em até 10% e a receita em até 2% (AVEVA, 2022).

Os diretores muitas vezes ignoram o conceito do gêmeo digital devido ao medo do desconhecido ou preocupações com os investimentos iniciais, sem saber se esses vão trazer o retorno que esperam. Entretanto eventos como COVID-19, mudanças climáticas, guerra entre a Rússia e a Ucrânia vem gerando preocupações globais. Interrupções repentinas e repetidas estão abalando o mercado e mudando padrões até antes consolidados, isso vem fazendo com que as companhias também tenham que se adaptar (OLCOTT; MULLEN; SYSTEM, 2020). A informação circula cada dia mais rápido e assim também devem ser as adaptações, aquele que não se adaptar vai perder sua vez. Soluções e abordagens diferentes devem aparecer para enfrentar desafios inéditos, agilidade e velocidade são fatores determinantes nessa disputa pela permanência no mercado. A tecnologia como do gêmeo digital oferece uma abordagem para digitalizar operações orientadas a processos, permitindo testar diversas soluções para um mesmo problema e fornecendo assim a melhor solução antes de colocá-la em prática.

## 2 FUNDAMENTOS

### 2.1 EQUÍVOCOS DOS GÊMEOS DIGITAIS

Entre os equívocos está a concepção de que o gêmeo digital tem que ser um modelo 3D exato de um modelo físico. Por outro lado, algumas pessoas pensam que um gêmeo digital é apenas um modelo 3D (FULLER et al., 2020).

As definições de modelo digital, sombra digital e gêmeo digital de acordo com (KRITZINGER et al., 2018) são as seguintes:

**Modelo digital - Digital Model** Não existe troca automática de dados entre o modelo físico e o modelo digital. É um modelo descrito como uma versão digital de um objeto físico existente ou em planejamento. Planos para edifícios, projeto de produto e desenvolvimentos de são alguns exemplos de modelos digitais. A característica fundamental é não ter nenhuma forma de troca automática de dados entre o sistema físico e modelo digital. Isso significa que uma vez o modelo digital é criado uma mudança feita no objeto físico não tem impacto no modelo digital de qualquer maneira.

**Sombra digital – Digital Shadow** É uma representação digital de um objeto que tem um fluxo de mão única entre o objeto físico e digital. Uma mudança no estado do objeto físico leva a uma mudança no objeto digital e não o contrário .

**Gêmeo digital – Digital Twin** Se os dados fluírem entre um objeto físico existente e um objeto digital, e eles são totalmente integrados em ambas as direções, isso constituiu a referência “Gêmeo Digital”. Uma mudança feita ao objeto físico leva automaticamente a uma mudança no objeto digital e vice-versa.

### 2.2 ARQUITETURA DO GÊMEO DIGITAL

De acordo com (OLCOTT; MULLEN; SYSTEM, 2020) a arquitetura do gêmeo digital possui 6 estágios. São eles:

**1º estágio** O ativo é equipado com sensores habilitados para IoT que medem entradas e saídas críticas do processo físico e arredores do ativo.

**2º estágio** É implementada entre o ativo e uma plataforma digital uma integração bidirecional e em tempo real.

**3º estágio** Os dados dos sensor são coletados em um repositório centralizado. Esses dados são então organizados e preparados para análise.

**4º estágio** Os dados são analisados e visualizados para gerar modelos interativos que forneçam Insights e apoiem a tomada de decisões.

**5º estágio** Os Insights da análise são apresentados por meio de painéis e modelos 3D, destacando áreas que exigem verificação e modificação.

**6º estágio** Ocorre um Feedback ao ativo físico e ao modelo digital para alcançar a otimização do processo. A intervenção humana pode ocorrer conforme necessário para melhorias ou correção de falhas

### 2.3 NÍVEIS DE COMPLEXIDADE

Os gêmeos digitais evoluíram desde o início e podem ser classificados por vários níveis de complexidade. Dentro do ambiente construído, o gêmeo digital começa no nível do componente e se acumula até o nível do processo (OLCOTT; MULLEN; SYSTEM, 2020).

**Nível de componentes** descreve o gêmeo digital de um componente, seja ele um robô, uma prensa hidráulica, ou até mesmo um motor de um Conveyor. As informações coletadas de cada componente alimentam o sistema, permitindo a visualização em tempo real e a

performance das operação. Se o motor estiver sobreaquecendo, qual melhor opção: reduzir a carga, diminuir a velocidade, parar a linha e substituir o motor. O gêmeo digital irá fornecer a melhor resposta com base em todas a informações com a qual ele já foi alimentando e nas simulações futuras, ele poderá indicar a solução ótima. Também poderá informar falhas futuras com a análise passadas e programar manutenções preditivas antes mesmos dos problemas começarem a aparecer.

**Nível de ativos** é a versão mais comum dos gêmeos digitais. Um modelo de todo um ativo como a peça de um equipamento ou um prédio inteiro. Continuamente analisando todos os dados de um processo, sugere melhorias que podem ser realizadas para otimização dos processos. Com acesso ao gêmeo digital de um ativo as indústrias podem experimentar benefícios similar a manutenção preventiva em escalas maiores ainda.

**Nível de sistema** é a coleção de ativos que operam juntos sistematicamente dentro de um programa. Fábricas inteiras podem se beneficiar desse processo à esse nível para analisar como todo o eco-sistema está funcionando.

**Nível de processo** é a Big-Picture de todo o modelo. Produz Insights para a performance de toda a cadeia, muito além do nível operacional fornecido por um sistema. Com esse tipo de modelo as empresas podem medir as características operacionais que melhor se adequam a sua estratégia e tipo de negócio.

Todos os quatro níveis apresentam abordagens com o mesmo objetivo – otimizar o coletivo. Em muitas soluções, vários gêmeos digitais de vários ativos estão interconectados dentro de uma empresa.

### 3 FERRAMENTAS

#### 3.1 INFRAESTRUTURA COMPUTACIONA

Em aplicações de computação científica, as velocidades de processamento e comunicação aumentaram substancialmente ao longo dos últimos anos. Entretanto a comunicação acaba se tornando mais desafiadora conforme o número de elementos processados começa a aumentar (DONGARRA et al., 2011).

De acordo com a Lei de Moore, pode-se esperar que o desempenho e a funcionalidade dos computadores/processadores duplique a cada dois anos devido aos avanços da eletrônica digital. Entretanto estamos limitados à fatores físicos que se não forem contornados se tornaram um limitador para o avanço das tecnologias. Prevê-se que a computação quântica emergente

ofereça sistemas e recursos fenomenais para resolver problemas complexos intensivos.

Atualmente uma tecnologia capacitadora para gêmeos digitais é a computação em nuvem que utiliza o poder de computação em servidores remotos hospedados em na Internet para armazenar, gerenciar e processar informações/dados o invés de um servidor local ou um computador pessoal (KHANDARE et al., 2021).

#### 3.2 TECNOLOGIAS IOT

O desenvolvimentos de tecnologias inteligentes está fazendo o uso de IoT em diversos campos, apenas para citar alguns, saúde, agricultura, energia e transporte. Provando sua popularidade e aceitação graças a disponibilidade de conexões Wi-Fi de alta velocidade, sensores de baixo custo e o desenvolvimento de algoritmos de Machine Learning (ML) capazes de realizar cálculos e análises em tempo real (ČOLAKOVIĆ; HADŽIALIĆ, 2018). No ambiente industrial uma rede de sensores IoT é capaz de monitorar os processos de automação. Todo processamento de dados desse sensores ocorrem na computação em nuvem, fornecendo

assim um modelo computacional flexível, que pode ser perfeitamente adequado à medida que ocorrem variações de demanda ou mudanças no modelo da planta fabril.

#### 3.3 PLATAFORMAS

A General Electric (GE ) documentou pela primeira vez o uso de um DT em um pedido de patente em 2016. Do conjunto de conceitos na patente, eles desenvolveram um aplicativo chamado Plataforma "Predix"(GE, 2016). Que é uma ferramenta para criação de gêmeos digitais. É utilizada para executar análise de dados e monitoramento. A Siemens desenvolveu uma plataforma para Industrial Internet of Things (IIoT ) chamada "MindSphere"(PETRIK; HERZWURM, 2019) é uma operação de código aberto, baseada em nuvem com um sistema de controle desenvolvido para monitorar ativos industriais para diferentes processos industriais. Utiliza todos os dispositivos conectados através de um grande fluxo de dados com a

esperança de transformar negócios e proporcionar soluções com DT.

Outra plataforma alternativa para o desenvolvimento de DT é a tecnologia de AI é "ThingWorx" criada pela PTC é uma plataforma com foco principal de processar dado IIoT /IoT e fornecer ao usuário através de uma plataforma simples informações relevantes que possam proporcionar Insight para aprimoramentos dos processos. A plataforma facilita o desenvolvimento suave de análise de dados, enquanto também desenvolve um ambiente para solução de gêmeos digitais (CHEN et al., 2018).

A IBM desenvolveu uma plataforma chamada "Watson IoT Platform"(KUMAR; JASUJA, 2017) comercializado como uma ferramenta de dados IoT completa que pode ser usada para gerenciar sistemas de grande escala, em tempo real, por meio de coleta de dados coletados de

milhões de dispositivos IoT. A plataforma permite adicionar vários recursos, tais como serviços baseados em nuvem, análise de dados e serviços de Blockchain. Tudo isso permite que seja possível operar uma plataforma com um sistema de DT.

Já os softwares Open-Source existem dois grandes projetos que se destacam. O primeiro é o "Ditto" um projeto desenvolvido pela Eclipse. Uma plataforma pronta para usar que pode gerenciar os estados de um DT, dando acesso e controle tanto ao gêmeo físico quanto para o digital. A plataforma foi desenvolvida em uma função de Back-End fornecendo suporte para dispositivos já conectados e simplificando a conexão e gestão de DT (DAMJANOVIC-BEHRENDT, 2018). Já o segundo é o "imodel.js" desenvolvida pela Bentley System, uma plataforma para criar, acessar e construir DT (KAKI, 2018).

### **3.4 INTERFACE HOMEM – MÁQUINA**

Haverá a necessidade de visualização, comunicação e interação mais eficazes e rápidas entre os humanos e as máquinas no contexto do DT. Uma alternativa para essa visualização são os dispositivos de realidade aumentada/virtual que fornecem uma visão detalhada dos ativos. Processamento de linguagens neurais, controles e gestos serão modelos comuns de interação e comunicação.

## **4 DESAFIOS**

### **4.1 MODELAGEM**

Se houver divergências inaceitáveis entre o modelo do gêmeo digital e o objeto físico, é necessário realizar a modificação do modelo em uso. Uma seleção razoável dos parâmetros a serem modificados é fundamental a fim de se obter um modelo eficaz e eficiente. Com base em funções objetivo formuladas é necessária uma metodologia apropriada para realização das modificações (TAO et al., 2022).

### **4.2 PRIVACIDADE DE DADOS E SEGURANÇA**

Para uma implementação bem-sucedida de gêmeos digitais a confiança nos sistemas de informação é um fator bastante minucioso, especialmente se for usado cada vez mais em aplicações de segurança crítica. Nesse contexto, Nakamoto (NAKAMOTO, 2009) sugere o conceito de Blockchain. Um registro distribuído, seguro e verificável de informações (dados, transações) ligadas em uma única cadeia. As informações são armazenadas dentro de blocos criptográficos conectados dentro de uma ordem seqüencial. A validade de cada novo bloco inserido é verificada por uma rede Peer-to-peer antes de ser conectado ao Blockchain utilizando um Hash criptografado, gerado a partir do conteúdo do bloco anterior. Isso permite com que a cadeia nunca seja quebrada e cada bloco é gravado permanentemente. Proporcionando máxima segurança, rastreabilidade e transparência nas aplicações onde o Blockchain pode ser empregado.

No contexto do gêmeo digital onde rastreabilidade e segurança das informações é de extrema importância, espera-se que o Blockchain desempenhe um papel de extrema importância. Garantindo armazenamento e recuperação segura dos dados por meio de criptografia avançada.

Será praticamente impossível perder dados uma vez que devido à sua característica descentralizada os dados são sempre recuperáveis garantindo transparência com responsabilidade.

## 5 APLICAÇÕES

Os gêmeos digitais com base em suas características podem ser aplicados em diferentes áreas de negócios (HOLOPAINEN et al., 2022), isso depende da modelação que será aplicada à ele.

Um mesmo gêmeo digital pode ser utilizado durante todo o ciclo de vida de um produto. Como auxiliar de projeto, validação e teste e em algumas partes também para produção, treinamento, marketing, manutenção e serviço (HOLOPAINEN et al., 2022).

### 5.1 EDIFÍCIO INTELIGENTE - SMART BUILDING

Após a realização de um estudo conjunto entre a Harvard Business Review Analytic Services e a Microsoft (HOOF, 2018), concluiu-se que 66% das organizações globais identificam a gestão de energia como sendo a principal razão em se adotar tecnologias inteligentes e 72%

dos executivos afirmam que a redução na ineficiências das instalações e custos operacionais são seus objetivos principais de trabalho. Com isso podemos identificar a importância fundamental que os gêmeos digitais tem em trazer a internet das coisas IoT e a internet de habilidades Internet of Abilities (IoA) à tona.

Os edifícios inteligentes estão ajudando as pessoas a se sentirem mais confortáveis e produtivas no trabalho, graças a dados em tempo real sobre qualidade do ar, iluminação, níveis de ruído, e outros fatores ambientais. Os ambientes estão se ajustando às necessidades das pessoas, ao invés das pessoas terem que se ajustar aos ambientes em que estão.

A natureza preditiva dos gêmeos digitais pode reduzir os custos de manutenção e paradas inesperadas. Sua habilidade de armazenar informações, monitorar e analisar dados instantâneos enquanto utiliza ML para prever riscos futuro. Os sensores espalhados ao redor dos edifícios podem de forma preditiva agendar protocolos de manutenção, se tornando muito mais eficiente e prático do que a forma atual de agendamentos (LUKESH et al., 2021).

Para tal capacidade os gêmeos digitais podem ser configurados para detectar em quais faixa os componentes ou equipamentos em análise trabalham de forma ideal, e qualquer valor que esteja fora desta faixa pré-determinada ativa um alerta para verificação do que está ocorrendo, antes de ocasionar a falha, e um problema maior venha a aparecer. De forma similar, os gêmeos digitais podem aprender como um equipamento opera. Por exemplo, identificar se o

clima de alguma forma exerce algum impacto no comportamento de tal equipamento, com base nisso acessar o banco de dados contendo a previsão do clima e automaticamente mudar alguns valores de operação, para trabalhar de forma mais eficiente possível. Usuários podem reduzir custos com inventários, uma vez que o gêmeo digital pode prever com antecedência uma lista do que será necessário para manutenção ou até mesmo onde tais peças podem ser encontradas.

### 5.2 SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL E AGRICULTURA

Soluções que visam reduzir a utilização de recursos estão em alta, não apenas por questões econômicas, mas também por questões de responsabilidade social e ambiental visando reduzir as mudanças climáticas que estão se intensificando no último século. Os gêmeos digitais

podem identificar e reduzir a consumo excessivo e desnecessário de energia (LUKESH et al., 2021). A Google possui um aparelho termostato utilizando sensores IoT se comunica com o sistema de ar condicionado central para ajustar em tempo real a temperatura e umidade, reconhece padrões, condições especiais em desejados dias e prazos programáveis.

## 6 CONCLUSÃO

Tamanha tecnologia visa proporcionar e trazer inúmeros benefícios, entretanto é necessário estar sempre de olho, entender e acompanhar os desafios da implantação para que assim possamos desfrutar o melhor que os gêmeos digitais podem oferecer.

Cibersegurança e privacidade de dados estão se tornando fatores cruciais, devido ao sua comunicação bidirecional, ambos os lados devem estar blindados à qualquer fator externo que possa interferir com toda a cadeia de processos envolvidos. Uma vez exposto sinais de fragilidade, qualquer ciberataque pode desequilibrar todo sistema, ocasionando comportamentos inesperados e que dependendo da área de atuação pode acarretar em riscos catastróficos.

Outro desafio é gerenciar de maneira correta o que se deseja obter e estar sempre desenvolvendo as habilidades corretas para implementação. Conhecimento avançado nas áreas de aplicação, investimento em conhecimento técnico e atualização das ferramentas necessárias para melhor representar, analisar e visualizar os modelos de gêmeos digitais também se faz necessário para garantir que todo investimento almejado tenha um propósito e um plano e direção alinhado.

## REFERÊNCIAS

AVEVA. **Engineering a trusted digital twin**. Cambridge, UK: AVEVA Group plc and its subsidiaries, 2022. Disponível em: <<https://engage.aveva.com/engineer-trusted-digital-twin-ebook-lp.html>>. Acesso em: 05 nov. 2022.

CHEN, Ximing et al. Digital behavioral twins for safe connected cars. In: . New York, NY, USA:

Association for Computing Machinery, 2018. (MODELS '18), p. 144–153. ISBN 9781450349499.

Disponível em: <<https://doi.org/10.1145/3239372.3239401>>.

DAMJANOVIC-BEHRENDT, Violeta. A digital twin-based privacy enhancement mechanism

for the automotive industry. In: **2018 International Conference on Intelligent Systems (IS)**. [S.l.: s.n.], 2018. p. 272–279.

DONGARRA, Jack et al. The international exascale software project roadmap. Sage Publications,

Inc., USA, v. 25, n. 1, p. 3–60, feb 2011. ISSN 1094-3420. Disponível em: <<https://doi.org/10.1177/1094342010391989>>.

FULLER, Aidan et al. Digital twin: Enabling technologies, challenges and open research. **IEEE**

**Access**, v. 8, p. 108952–108971, 2020.

GE. **GE Digital Twin: Analytic Engine for the Digital Power Plant**. Boston, EUA: GE Power Digital Solutions, 2016. Disponível em: <[https://www.ge.com/digital/sites/default/files/download\\_assets/Digital-Twin-for-the-digital-power-plant.pdf](https://www.ge.com/digital/sites/default/files/download_assets/Digital-Twin-for-the-digital-power-plant.pdf)>. Acesso em: 06 nov. 2022.

GRIEVES, Michael; VICKERS, John. Digital twin: Mitigating unpredictable, undesirable emergent behavior in complex systems. In: **Transdisciplinary Perspectives on Complex Systems: New Findings and Approaches**. Cham: Springer International Publishing, 2017. p. 85–113. ISBN 978-3-319-38756-7. Disponível em: <[https://doi.org/10.1007/978-3-319-38756-7\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-319-38756-7_4)>.

HOLOPAINEN, Mira et al. Digital twins' implications for innovation. **Technology Analysis & Strategic Management**, Routledge, v. 0, n. 0, p. 1–13, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/09537325.2022.2115881>>.

HOOFF, Bert. Van. **Data Driven Work Spaces- IoT and AI expand the promise of Smart Buildings**. 2018. Disponível em: <<https://azure.microsoft.com/en-in/resources/create-smart-spaces-with-azure-digital-twins/>>. Acesso em: 06 out. 2022.

JONES, David et al. Characterising the digital twin: A systematic literature review. **CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology**, v. 29, p. 36–52, 2020. ISSN 1755-5817. Disponível em:

<<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1755581720300110>>.

KAKI, Aamir Hussain. **Bentley Systems Releases iModel.js, an Open-Source Library**. opensourceforu, 2018. Disponível em: <<https://www.opensourceforu.com/2018/10/bentley-systems-releases-imodel-js-an-open-source-library/>>. Acesso em: 07 nov. 2022.

KUMAR, Somansh; JASUJA, Ashish. Air quality monitoring system based on iot using raspberry pi. In: **2017 International Conference on Computing, Communication and Automation (ICCCA)**. [S.l.: s.n.], 2017. p. 1341–1346.

LUKESH, Todd et al. **Digital twin: the Age of Aquarius in construction and real estate**. 2021. Disponível em: <<https://www.ecmag.com/news-announcements/digital-twin-age-aquarius-construction-and-real-estate-white-paper>>. Acesso em: 03 nov.2022.

NAKAMOTO, S. **Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System**. 2009. Disponível em: <<http://bitcoin.org/bitcoin.pdf>>. Acesso em: 09 nov. 2022.

OLCOTT, Sean; MULLEN, Casey; SYSTEM, Bentley. **The definition of a digital twin**. 2020. Disponível em: <<https://www.digitaltwinconsortium.org/hot-topics/the-definition-of-a-digital-twin.htm>>. Acesso em: 06 out. 2022.

PARROTT, Aaron; WARSHAW, Lane. **Industry 4.0 and the digital twin Manufacturing meets its match**. 2017. Disponível em: <<https://www2.deloitte.com/us/en/insights/focus/industry-4-0/digital-twin-technology-smart-factory.html>>. Acesso em: 03 nov. 2022.

PETRIK, Dimitri; HERZWURM, Georg. Iiot ecosystem development through boundary resources: A siemens mindsphere case study. In: . New York, NY, USA: Association for Computing Machinery, 2019. (IWSiB 2019), p. 1–6. ISBN 9781450368544. Disponível em: <<https://doi.org/10.1145/3340481.3342730>>.

PURCELL, Warren; NEUBAUER, Thomas. Digital twins in agriculture: A state-of-the-art review. **Smart Agricultural Technology**, v. 3, p. 100094, 2023. ISSN 2772-3755. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2772375522000594>.

TAO, Fei et al. Digital twin modeling. **Journal of Manufacturing Systems**, v. 64, p. 372–389, 2022. ISSN 0278-6125. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0278612522001108>>.

ČOLAKOVIĆ, Alem; HADŽIALIĆ, Mesud. Internet of things (iot): A review of enabling technologies, challenges, and open research issues. **Computer Networks**, v. 144, p. 17–39, 2018. ISSN 1389-1286. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1389128618305243>>.

## GLOSSÁRIO

**Back-End** É a estrutura que possibilita a operação do sistema, enquanto o front-end é responsável pela parte visual.

**Big-Picture** Uma visão geral, como um todo.

**Blockchain** É uma "cadeia de blocos" interconectados, registrando todas as transações e rastreando os ativos em uma rede. Seu compartilhamento é imutável, facilitando o processo de registro das transações.

**Conveyor** Esteira transportadora.

**Feedback** Realimentado, fornecendo uma resposta à um determinado pedido.

**Hash** É um algoritmo utilizado para garantir a integridade de um documento, de maneira que um perito técnico possa comprovar que não houve alteração.

**Insight** Descrito como uma espécie de epifania, relacionado com a capacidade de discernimento plural.

**Open-Source** Software de código aberto. Não possui custo de licença e pode ser adaptado pra diferentes fins.

**Peer-to-peer** A tradução para o português, significa ponto a ponto. Se refere a um tipo de arquitetura de rede de computadores em que cada participante (ponto) é também um servidor, e ajuda a manter o sistema funcionando.