

Interreg



Cofinanciado por
la Unión Europea
Cofinanciado pela
União Europeia

España – Portugal

*Twin*NavAux

Relatório da vigilância tecnológica e estado da arte das tecnologias relacionadas com o Digital Twin

maio 2024

Conteúdo

- 
- 1 Introdução
 - 2 Definição e conceitos básicos
 - 3 Aplicações de gémeos digitais
 - 4 Tecnologias de aplicação
 - 5 Casos de estudo
 - 6 Gémeo digital no setor naval
 - 7 Desafios e futuro
 - 8 Conclusões



Introdução



Introdução

Twin NavAux

Contexto

O projeto *Twin NavAux*, financiado com fundos FEDER, faz parte do programa POCTEP 2021-2027 e tem como objetivo promover a utilização do Gémeo digital na indústria Auxiliar Naval na Galiza e no Norte de Portugal.

O objetivo é estabelecer as condições tecnológicas e de formação de pessoal necessárias para promover a adoção generalizada de modelos de produtos Gémeos digitais, neste caso, no domínio naval, onde é particularmente relevante devido à sua contribuição para a otimização, tanto do processo de fabricação como da fase de apoio de um navio, quando entra em funcionamento.

A adoção da tecnologia de Gémeos digitais na indústria da construção naval é particularmente relevante, uma vez que oferece uma variedade de benefícios que vão desde a otimização do desenho e das operações até à melhora da segurança e da conformidade regulamentar. A implementação de um Gémeo digital permitirá a criação de modelos virtuais precisos do navio, dos sistemas e dos processos antes da construção, facilitando a identificação de potenciais erros e permitindo a implementação de manutenção preditiva para ajudar a corrigir potenciais falhas antes de se tornarem críticas.

Isto beneficiará as organizações em termos de gestão dos ativos dos navios, uma vez que uma visão centralizada dos ativos proporcionará uma panorâmica completa do seu estado e desempenho, prolongando assim a vida útil dos próprios ativos e otimizando os processos de atribuição de recursos.

A Axencia Galega de Innovación lidera como principal beneficiário deste projeto, que conta com a participação de parceiros importantes como:



 AXENCIA GALEGA DE INNOVACIÓN

 A Asociación Cluster del Naval Gallego (**ACLUNAGA**)

 **Universidad da Coruña (UDC)**

 **Industrias Ferri SA**

 **Ibercisa Deck Machinery SA**

 **Electrorayma SL**

 O Centro de Apoio Tecnológico à Indústria Metalomecânica (**CATIM**)

 A **Universidade Portucalense** Infante Dom Henrique

Objetivos do documento

Para levar a cabo o desenvolvimento de um Gémeo Digital no setor naval, este relatório recolherá uma identificação necessária das capacidades desta tecnologia, que servirá de ponto de partida para o seu futuro desenho e desenvolvimento. Ao longo do documento, é apresentada uma análise do estado da arte que contempla:

- O desenvolvimento de outros projetos e entidades que estão a trabalhar no setor naval com a tecnologia de Gémeos digitais.
- A criação de um **benchmark de tecnologias** e competências profissionais utilizadas no mercado para o desenvolvimento de projetos de Gémeos digitais.

Projetos e Entidades

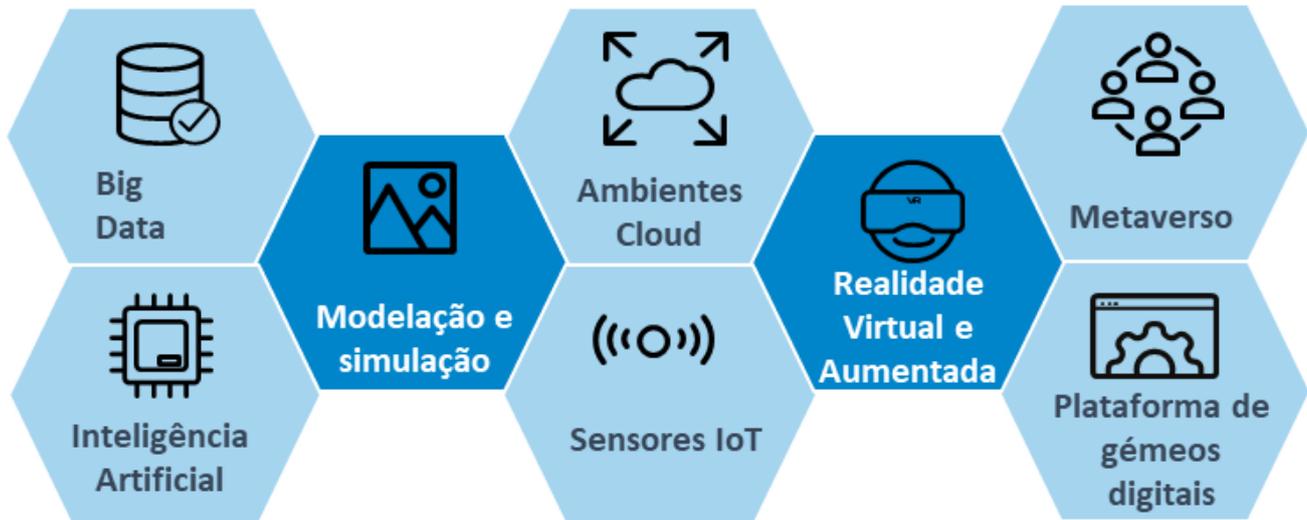
Para conferir maior detalhe ao relatório e compreender o contexto de partida do Gémeo Digital no setor naval, propõe-se realizar um estudo sobre o modo como esta tecnologia está a ser aplicada em entidades e projetos relacionados com este setor e outros subsectores em que seja aplicável. O gráfico seguinte mostra algumas das áreas profissionais em que o envolvimento do Gémeo digital foi alvo de estudo:



Algumas das entidades identificadas

- AISTER (Aislamientos térmicos de Galicia, S.A.)
- Astilleros Armon Vigo S.A.
- Astilleros Blascar-a Graña S.L.
- 360 Integra Data, S.L.
- Abance Ingeniería y Servicios S.L
- Insider S.L.
- Maessa Naval S.L.U.
- Fluidmecanica, S.A.
- Industrias Ferri S.A
- Aislamientos Soamar, S.L.
- Teknotherm Marine España S.L.
- DETEGASA (Desarrollo Técnicas Industriales de Galicia, S.A.)
- EMENASA Indústria y Automatismo S.A.U.
- ...

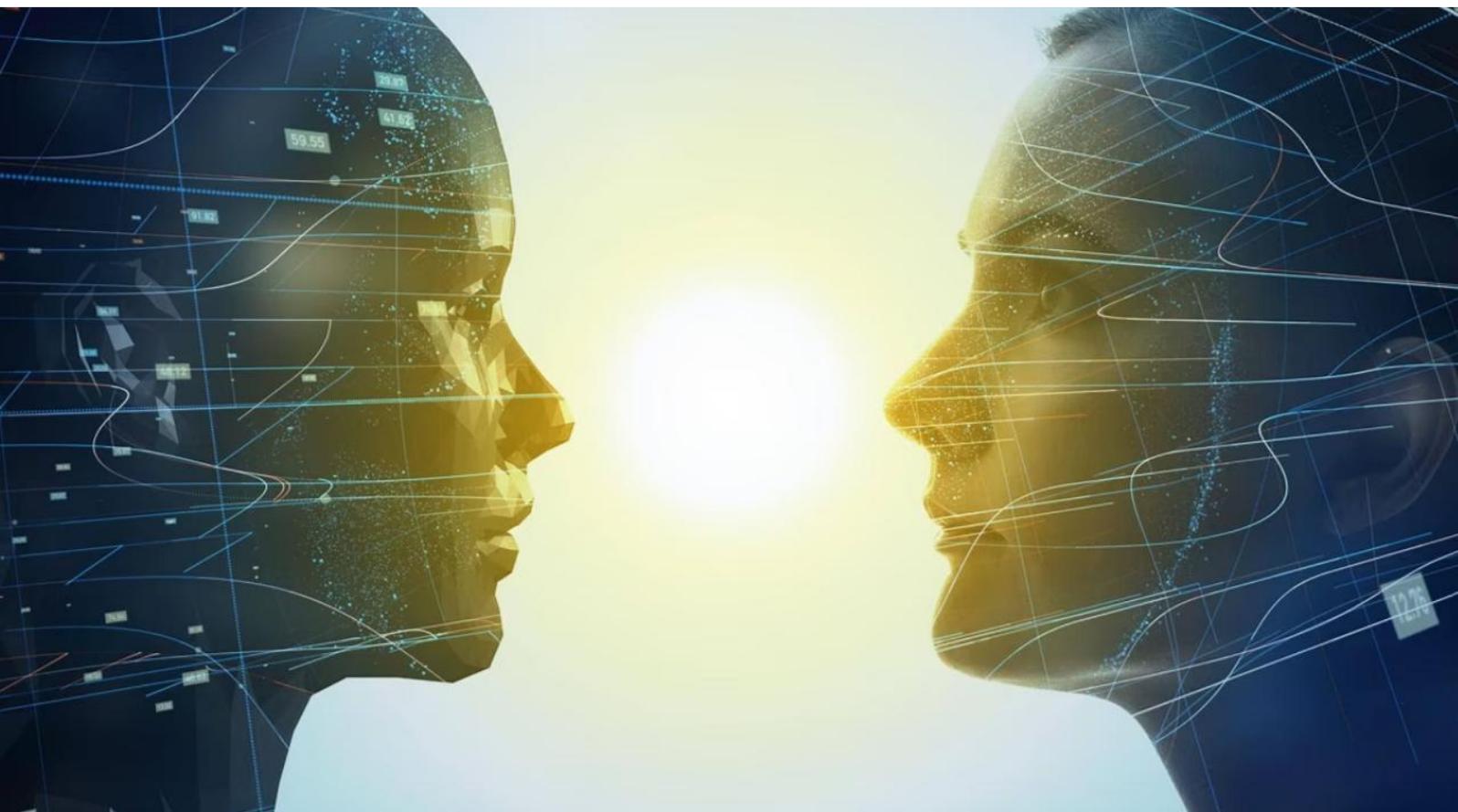
Referência tecnológica



- **Big data:** A recolha e análise de grandes quantidades de dados é essencial para a criação de Gémeos digitais exatos. Os grandes volumes de dados permitem gerir e processar informações provenientes de várias fontes, como sensores e sistemas, para obter uma representação detalhada e em tempo real do objeto ou sistema que está a ser modelado.
- **Inteligência Artificial:** A IA contribui com capacidades avançadas ao Gémeo digital, como a aprendizagem automática e a tomada de decisões autónoma. Pode otimizar a simulação, prever o comportamento e melhorar a adaptabilidade do Gémeo digital às alterações do ambiente ou das condições de funcionamento.
- **Modelação e simulação:** A própria base do Gémeo digital, a modelação e a simulação permitem a recriação virtual de objetos, sistemas ou previsões do mundo real. Isto permite testar cenários, prever o comportamento e otimizar o desempenho antes da implementação física.
- **Ambientes Cloud:** A computação em nuvem permite armazenar e processar grandes quantidades de dados, bem como efetuar simulações complexas de forma eficiente. Também facilita o acesso remoto a Gémeos digitais e promove a colaboração entre diferentes partes interessadas que podem aceder à plataforma a partir de locais dispersos.
- **Sensores da Internet das Coisas (IoT):** Os sensores da IoT recolhem dados do mundo real e transmitem-nos ao Gémeo digital. Isto melhora a precisão e a relevância do modelo, permitindo a monitorização em tempo real. As informações captadas pelos sensores contribuem para a manutenção preditiva, a tomada de decisões informadas e a melhoria contínua do Gémeo digital.

- **Realidade virtual e aumentada:** Estas tecnologias permitem uma interação mais imersiva com o Gémeo digital. A realidade virtual pode oferecer experiências de formação mais realistas, enquanto a realidade aumentada facilita a visualização de informações contextuais em ambientes reais, melhorando a tomada de decisões e a eficiência operacional.
- **Metaverso:** O metaverso é um espaço virtual partilhado que combina aspectos do mundo físico e digital. Pode ser utilizado para colaboração, formação e simulação em ambientes virtuais, o que acrescenta outra dimensão à utilidade dos Gémeos digitais.
- **Plataforma do Gémeo digital:** Uma plataforma bem concebida é essencial para integrar e gerir todas estas tecnologias de forma eficiente. Fornece uma interface centralizada para aceder, gerir e atualizar o Gémeo digital, bem como para colaborar em tempo real.

Ao analisar todas estas tecnologias e o seu impacto no desenvolvimento de um Gémeo digital, juntamente com o estudo de outros projetos que implementaram a tecnologia do Gémeo digital, procuraremos obter uma visão clara da situação atual do setor e da forma como a tecnologia do Gémeo digital está a ser utilizada noutras empresas, tanto ao nível da capacidade como ao nível técnico.



A fim de realizar o desenvolvimento do relatório, é proposta a seguinte metodologia de trabalho:

Definição e conceitos básicos

A metodologia começa com a clarificação de termos-chave e conceitos fundamentais associados aos Gémeos digitais. Inclui-se aqui **a história do Gémeo digital até aos dias de hoje, os tipos de Gémeos digitais e o seu funcionamento.**

Aplicações de Gémeos digitais

Serão exploradas as várias aplicações do Gémeo Digital em diferentes domínios, **Indústria, Saúde, Energia e Ambiente** e **outros setores** relevantes, de modo a compreender como esta tecnologia afeta o mundo profissional.

Tecnologias de aplicação

Irá detalhar as principais tecnologias utilizadas na implementação de Gémeos digitais, tais como tecnologias **de modelação e simulação, IoT, IA, Big Data, cibersegurança**, entre outras. Destacará a forma como estas ferramentas convergem para criar representações virtuais precisas e dinâmicas.

Estudos de casos

Serão analisados estudos de casos específicos relacionados com os Gémeos digitais. Estes exemplos fornecerão informações sobre as aplicações práticas, os benefícios obtidos e **as lições aprendidas com a implementação de Gémeos digitais.**

Gémeo digital no setor naval

Centrar-se-á **na adaptação dos Gémeos digitais** a desafios específicos do **setor naval**, destacando **iniciativas** e colaborações específicas que **conduziram à integração bem-sucedida** de Gémeos digitais em ambientes navais.

Desafios e futuro

Serão abordados os **desafios atuais**, como a interoperabilidade dos dados, a cibersegurança e a adoção cultural. Além disso, serão discutidas **as tendências emergentes e futuras.**

Conclusões

A metodologia contempla uma síntese das **principais conclusões**, salientando o **impacto positivo** dos Gémeos digitais no **setor naval**. Serão apresentadas **recomendações** para futuras investigações e práticas destinadas a **maximizar os benefícios** dos Gémeos digitais em ambientes navais.

**Definição e
conceitos
básicos**

2

Definição e conceitos básicos

Gêmeo Digital

História do Gêmeo Digital



2

Um Gêmeo digital é uma representação virtual de um objeto, sistema ou processo. Abrange todo o seu ciclo de vida e é atualizada em tempo real, com base em dados provenientes de sensores. Utiliza tecnologias que incluem: simulação, dispositivos IoT, aprendizagem automática e raciocínio para facilitar a tomada de decisões.

História

A primeira aparição deste conceito foi na publicação *Mirror Worlds* de 1991, onde David Gelenter descreveu a visão de mundos virtuais que espelhariam e seguiriam de perto o mundo real. No entanto, a primeira aplicação do conceito foi feita pelo Dr. Michael Grieves (Universidade de Michigan) em 2002 no domínio do fabrico, levando à aplicação concreta desta tecnologia e tornando-a uma realidade.

A essência do gêmeo digital é a capacidade de replicar vários elementos do mundo real, permitindo monitorizar seu desempenho, identificar erros e tomar decisões informadas.

A NASA também esteve envolvida na evolução deste conceito, formalizando e popularizando o termo "Gêmeo digital" em 2010, utilizando Gêmeos digitais para simular e monitorizar sistemas espaciais complexos.

Atualmente, empresas líderes em tecnologia, como a AWS (Amazon Web Services) e a IBM, reconhecem a recente relevância dos Gêmeos digitais, apoiam a eficiência operacional e oferecem serviços às organizações para simular e prever com precisão o desempenho de sistemas complexos. O que reflete a importância crescente desta tecnologia no panorama empresarial global.

1

Década de 1960: desenvolvimento dos sistemas CAD. Estes sistemas permitiram aos engenheiros criar representações digitais de produtos e sistemas, abrindo caminho para a criação de modelos virtuais.

2

Década de 1970-1980: A tecnologia CAD evoluiu para incluir mais informações sobre o desempenho e a função do produto. Os modelos digitais começaram a conter mais dados.

3

Década de 1990: A adoção generalizada da informática e o aumento da capacidade de processamento, juntamente com os avanços na simulação e modelação, permitiram aos engenheiros e designers testar virtualmente os seus produtos antes da fabricação física.

4

Década de 2000: O termo "Gêmeo digital" começou a ser utilizado mais formalmente para descrever a réplica digital de um objeto, sistema ou processo do mundo real. A proliferação de sensores IoT e a recolha maciça de dados contribuíram para o enriquecimento dos Gêmeos digitais.

5

Década de 2010: Com os avanços da inteligência artificial, da aprendizagem automática e da análise de dados, os Gêmeos digitais tornaram-se mais dinâmicos e capazes de se adaptar às mudanças em tempo real. Foram além da fabricação e passaram a incluir aplicações de gestão de ativos, manutenção preditiva, logística e muito mais.

6

Década de 2020 até à atualidade: A adoção de Gêmeos digitais tem continuado a crescer em vários setores, como a energia, os cuidados de saúde, a logística e a construção. A interligação de Gêmeos digitais em ambientes IoT e a integração com tecnologias emergentes, como a realidade aumentada e o metaverso, continuam a expandir as possibilidades e aplicações desta tecnologia.

A **classificação dos Gêmeos digitais** está estruturada de acordo com o seu âmbito e objetivo específicos, sendo a diferença mais notória o âmbito de aplicação. É comum encontrar diferentes Gêmeos digitais a coexistirem no mesmo sistema ou processo. Os diferentes tipos de Gêmeos digitais são os seguintes:

Gêmeos de ativos

Quando dois ou mais componentes funcionam em conjunto, formam aquilo a que se chama um ativo. Graças aos seus Gêmeos digitais, é possível realizar um estudo detalhado da interação entre os componentes, recolhendo dados de desempenho que podem ser processados e transformados em conhecimento valioso.

Gêmeos de componentes

Uma unidade elementar no Gêmeo digital, é o exemplo mais pequeno de um componente funcional.

Gêmeos de processo

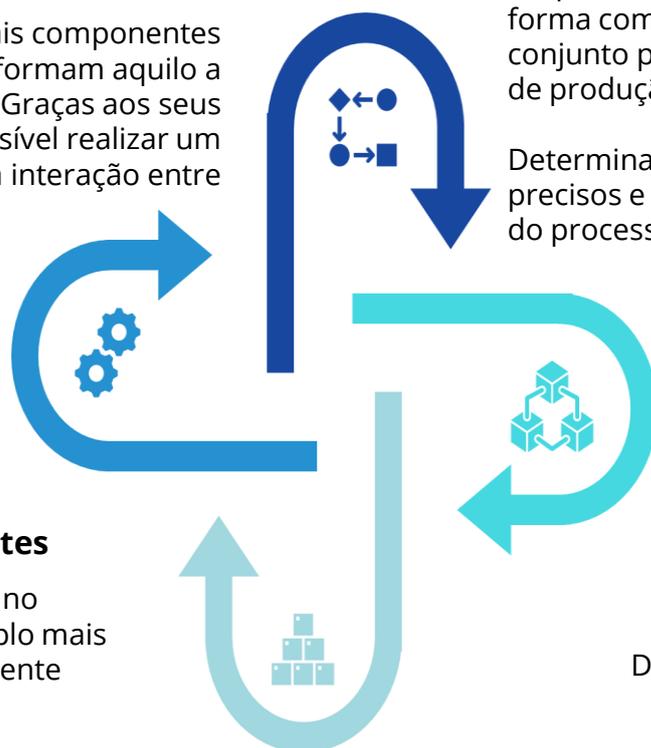
Proporcionam uma visão holística da forma como os sistemas funcionam em conjunto para estabelecer uma instalação de produção completa.

Determinam esquemas de temporização precisos e influenciam a eficiência global do processo.

Gêmeos de sistema

Também designados por Gêmeos de unidades digitais, permitem-nos ver como vários ativos são integrados para formar um sistema funcional completo.

Dar visibilidade à interação entre diferentes ativos.



Benefícios e oportunidades

- **Otimização e melhoria em I&D:** através da recolha de dados gerados sobre potenciais resultados de desempenho, podem ser identificadas ineficiências e necessidades de melhoria das as operações, mesmo antes do início da produção.
- **Simulação e manutenção preditiva:** reduzir os riscos e os custos associados ao mundo físico, antecipando as falhas para reduzir o tempo de inatividade não planeado.
- **Colaboração eficiente e inovação contínua:** ao fornecer uma plataforma comum para a manipulação de dados, melhora a colaboração entre departamentos, ao mesmo tempo que abre a oportunidade de experimentação virtual antes da aplicação prática.
- **Ensino e formação:** oferecem ambientes simulados para a aprendizagem prática, facilitando o desenvolvimento de novas competências.
- **Fim da vida útil do produto:** permite determinar quais os materiais do produto que podem ser recolhidos no fim do seu ciclo de vida.

Definição e conceitos básicos

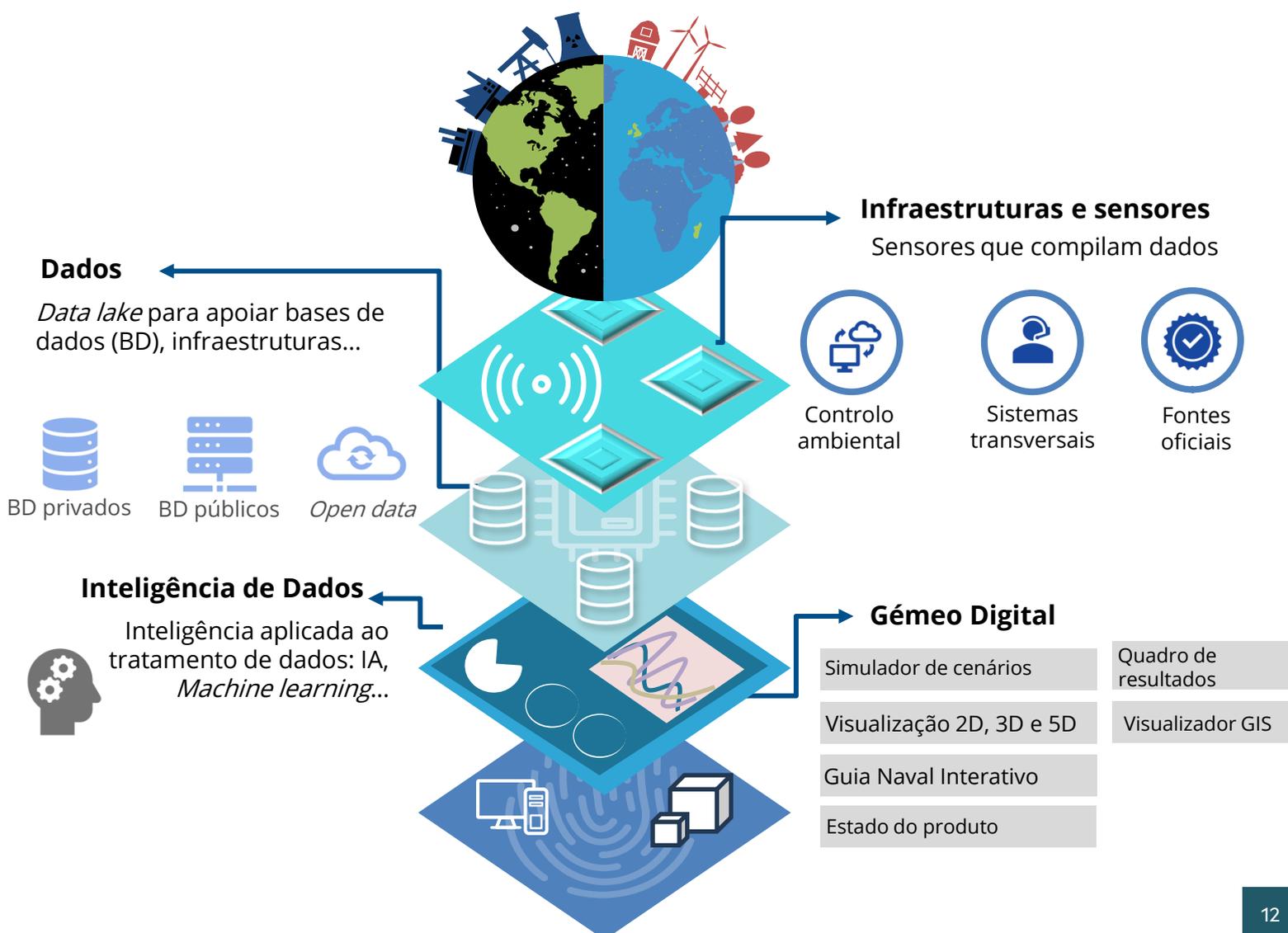
Gémeo Digital

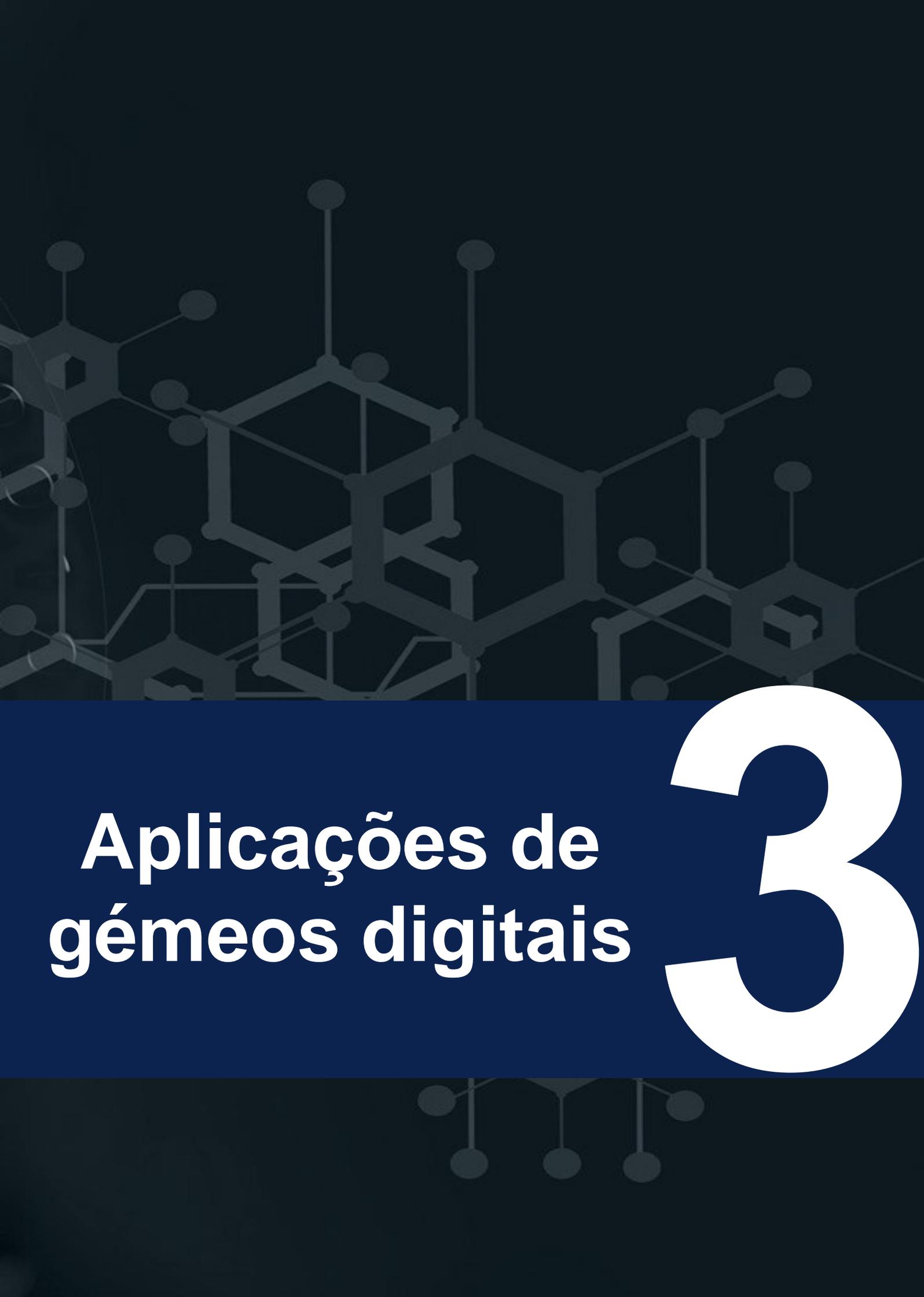
2

Como funciona um Gémeo digital?

O funcionamento de um Gémeo digital baseia-se na recolha, integração e análise de dados em tempo real para fornecer uma representação exata e detalhada da sua contraparte física.

- 1. Recolha de dados:** O processo começa com a recolha de dados de várias fontes, como sensores IoT, sistemas de monitorização e outros dispositivos ligados aos sistemas a emular.
- 2. Modelação e simulação:** Os dados recolhidos são utilizados para criar um modelo que reproduza fielmente a geometria, a funcionalidade e o comportamento do objeto ou do sistema em questão.
- 3. Integração tecnológica:** O Gémeo digital beneficia de várias tecnologias, como a IA e a análise de Big Data, para processar e analisar as informações recolhidas.
- 4. Atualização em tempo real:** É atualizada em tempo real através da recolha contínua de dados. Isto permite-lhe refletir com precisão quaisquer alterações no ambiente, garantindo que a representação virtual é o mais fiel possível à realidade em todos os momentos.
- 5. Interligação e colaboração:** Os Gémeos digitais podem interconectar-se com outros sistemas e Gémeos, permitindo a colaboração e a otimização de processos através da integração de dados e da comunicação entre entidades virtuais e físicas.





**Aplicações de
gémeos digitais**

3

Aplicações de gémeos digitais

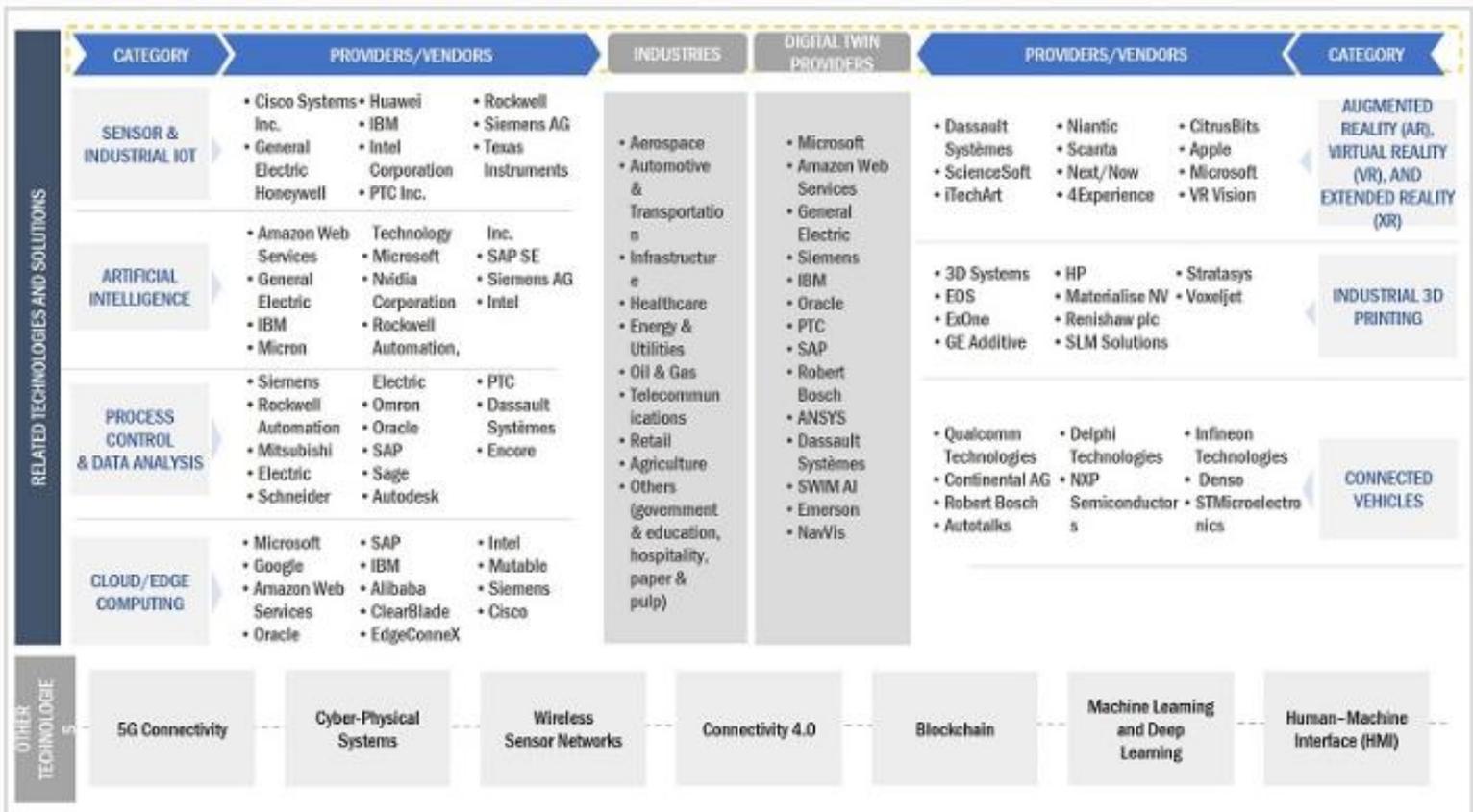
Setores

Setores em que atualmente tem maior aplicação

Provavelmente, o setor com maior utilização de gémeos digitais é o setor industrial, com aplicações em vários subsectores, como o automóvel, a logística, a aeronáutica ou a naval.

Este é, afinal, o setor em que o conceito surgiu nos anos 90, como será discutido mais adiante. No entanto, nos últimos anos, este novo paradigma tem sido adotado em muitos outros setores relevantes como a saúde, energia e ambiente, arquitetura e construção ou serviços públicos, entre outros.

Na figura abaixo, elaborada pela MarketsAndMarkets, pode ver-se de relance o enorme ecossistema que está a ser construído em torno do conceito de gémeo digital, e os vários setores em que este está a entrar, com perspectivas de mercado exponenciais nos próximos 5 anos.



Ecossistema de gémeos digitais. Fonte: MarketsAndMarkets

Indústria

É importante salientar que o Gémeo Digital é interpretado de diferentes formas dependendo do campo de aplicação, dos interesses empresariais ou das abordagens tecnológicas, causando confusão entre os stakeholders que pretendem implementar este tipo de soluções

Em 2020, com o objetivo de chegar a uma definição consensual, o Digital Twin Consortium publicou o seguinte texto:

“Um Digital Twin (ou Gémeo Digital) é uma representação virtual de entidades e processos do mundo real, sincronizados a uma frequência e fidelidade específicas.

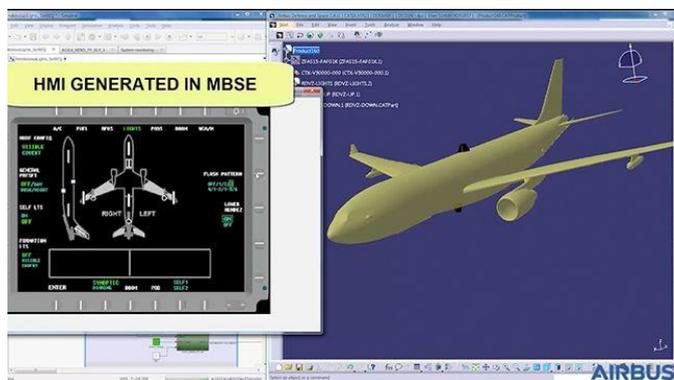
- Os sistemas de gémeos digitais transformam os negócios acelerando a compreensão holística, a tomada de decisões ideal e a ação eficaz.
- Os gémeos digitais usam dados históricos e em tempo real para representar o passado e o presente e simular futuros previstos.
- Os gémeos digitais são orientados a resultados, adaptados a casos de uso, baseados em integração, orientados por dados, impulsionados pelo conhecimento de domínio e implementados em sistemas de TI/OT.



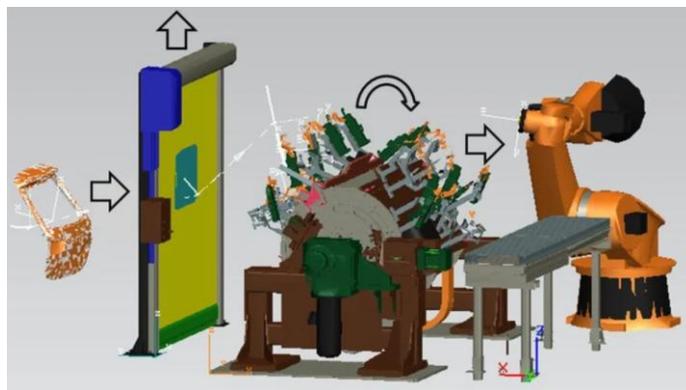
Exemplos de uso do Gémeo Digital na indústria

Airbus Defence and Space

Está imersa no processo de transformação digital. A Airbus pretende desenvolver um gémeo digital para o projeto A330 MRTT, usando a metodologia Model-Based Systems Engineering. Esta abordagem envolve a digitalização de requisitos, funcionalidades e design em todos os níveis: desde o estágio conceptual até o projeto detalhado, fabricação, verificação e suporte ao cliente. Além disso, procura estabelecer uma rastreabilidade bidirecional completa, que liga os requisitos aos elementos e vice-versa.



Gémeo digital A330. Fonte: Airbus



Gémeo digital na Volkswagen. Fonte: Siemens

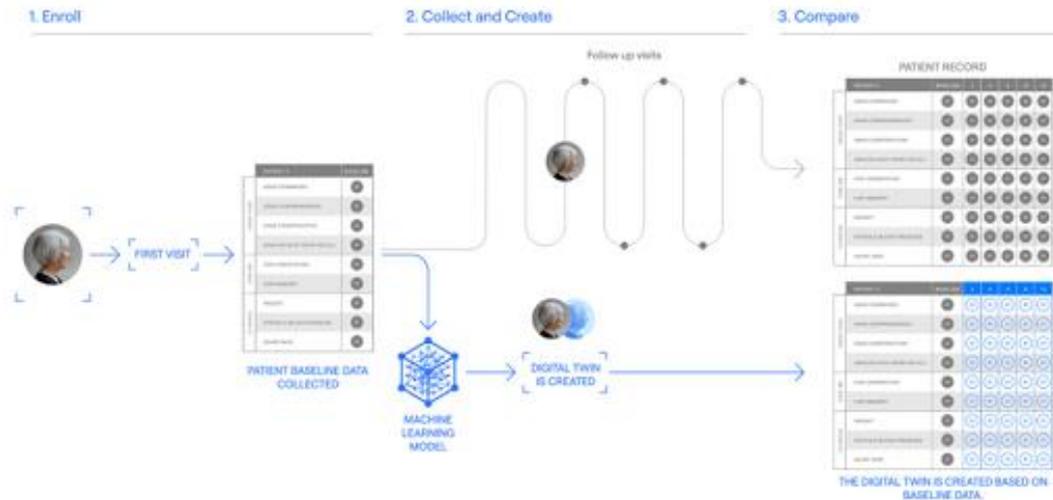
Volkswagen

Colaborou com a Siemens num projeto de investigação conjunto para melhorar a eficiência nas linhas de produção, no qual foram utilizados gémeos digitais para criar modelos de simulação de sistemas complexos. Uma porta de segurança, uma mesa de indexação rotativa e um robô são três componentes de uma instalação de produção da Volkswagen onde a tampa traseira de um veículo de passageiros é montada. O robô recolhe a tampa da bagageira da mesa de indexação rotativa, que é primeiro inclinada para a posição correta e depois transportada para a estação seguinte. A porta de segurança fechada protege as pessoas na fábrica dos movimentos da mesa e do robô, mas deve ser aberta quando uma nova tampa da bagageira é colocada sobre a mesa. Os três componentes da planta são controlados e coordenados por um software que garante que o robô e a mesa de indexação rotativa não se movem se a porta de segurança estiver aberta, por exemplo. Um erro de software pode causar acidentes graves e perda significativa de propriedade. Testes extensivos, especialmente aqueles realizados em um estágio inicial num gémeo digital da planta, ajudam a evitar acidentes como este.

Exemplos de utilização do Gémeo Digital na saúde

Unlearn

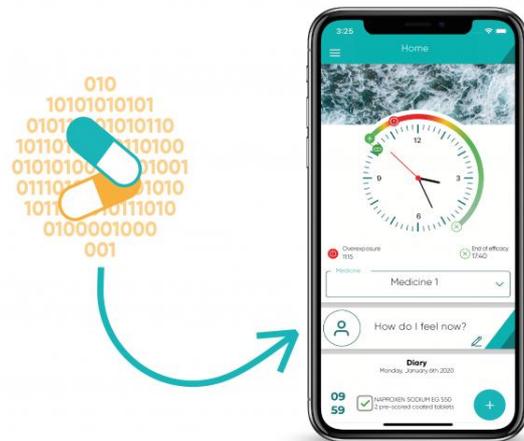
Esta é uma empresa líder em investigação clínica que utiliza gémeos digitais que simulam a trajetória da doença de um paciente com base em dados históricos e cenários relevantes.



Capacidades da Unlearn. Fonte: Desaprender

ExactCure

Este sistema simula a eficácia e as interações dos medicamentos no organismo do paciente, levando em consideração características pessoais como idade, sexo, estado renal, genótipo e outros fatores.



Aplicação móvel ExactCure. Fonte: ExactCure

Exemplos de utilização do Gémeo Digital em energia e ambiente

Algumas das aplicações neste campo são:

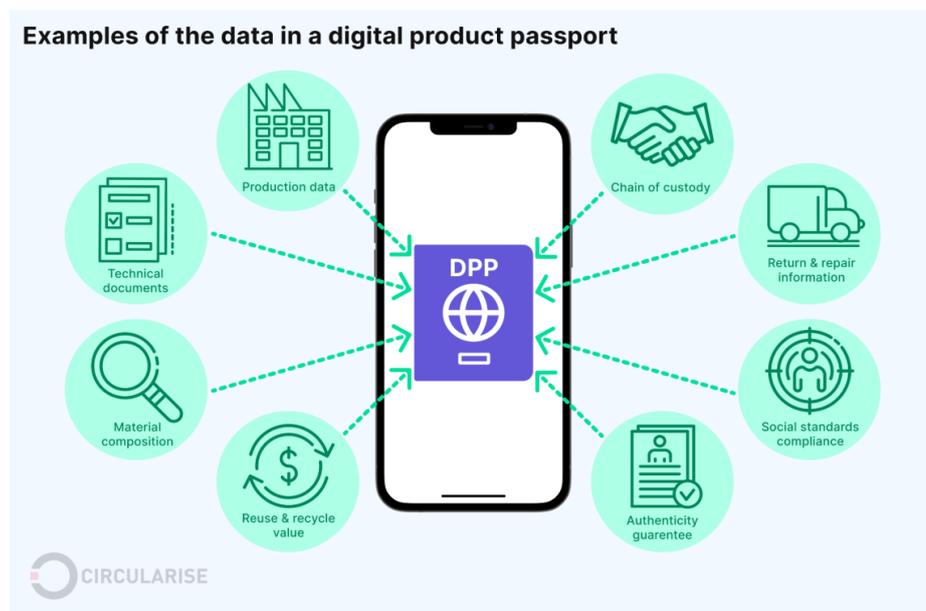
Projetar e otimizar processos de geração, distribuição e consumo de energia renovável, reduzindo custos e emissões de CO₂.

Monitorizar e controlar o status e desempenho de ativos energéticos, como centrais solares, eólicas ou hidrelétricas, realizando manutenção preditiva e prevenindo falhas.

Simular e analisar cenários futuros de procura e oferta de energia, adaptando a gestão e operação da rede elétrica às novas condições.

Criar políticas de eficiência energética e sustentabilidade ambiental, baseadas em dados reais e modelos preditivos, que melhorem a utilização dos recursos e minimizem o impacto ambiental.

No campo da circularidade, o Passaporte Digital de Produtos (DPP) será particularmente relevante, o que também pode ser interpretado como uma espécie de Gémeo Digital.



Exemplo de dados em um DPP. Fonte: Circularise

Exemplos de utilização do Gémeo Digital em energia e ambiente

Siemens Gamesa

Colabora com a NVIDIA para criar gémeos digitais baseados em física para otimizar o projeto de parques eólicos *offshore*.

Permitem modelar com precisão os efeitos da colocação de turbinas numa grande variedade de cenários meteorológicos. A figura abaixo mostra a plataforma de gémeos digitais que utiliza a infraestrutura Omniverse, o metaverso de NVIDIA.



Gémeo digital de turbinas eólicas. Fonte: NVIDIA

Endesa

Está a desenvolver um gémeo digital da sua rede de distribuição de eletricidade em Espanha. Este projeto, chamado *Network Digital Twin*, recria uma réplica exata da rede real num modelo virtual. Abrangendo 90.000 quilómetros de linhas aéreas de média e alta tensão, 1.311 subestações e 144.000 centros de distribuição, o gémeo digital permitirá uma gestão mais eficiente e precisa da rede elétrica.

O objetivo é permitir uma gestão mais eficiente e precisa da rede elétrica.

The background features a dark blue grid with glowing binary code (0s and 1s) arranged in curved paths. There are also several semi-transparent, glowing blue circular and oval shapes scattered across the scene, creating a sense of depth and motion.

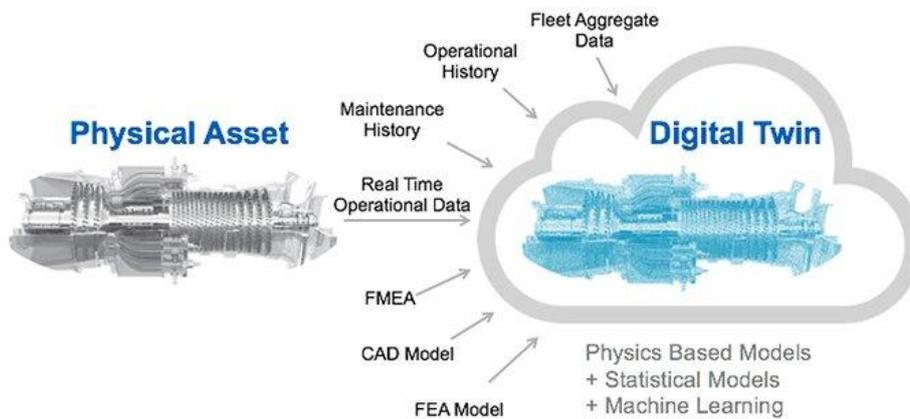
**Tecnologias de
aplicação**

4

Componentes tecnológicos do Gémeo Digital

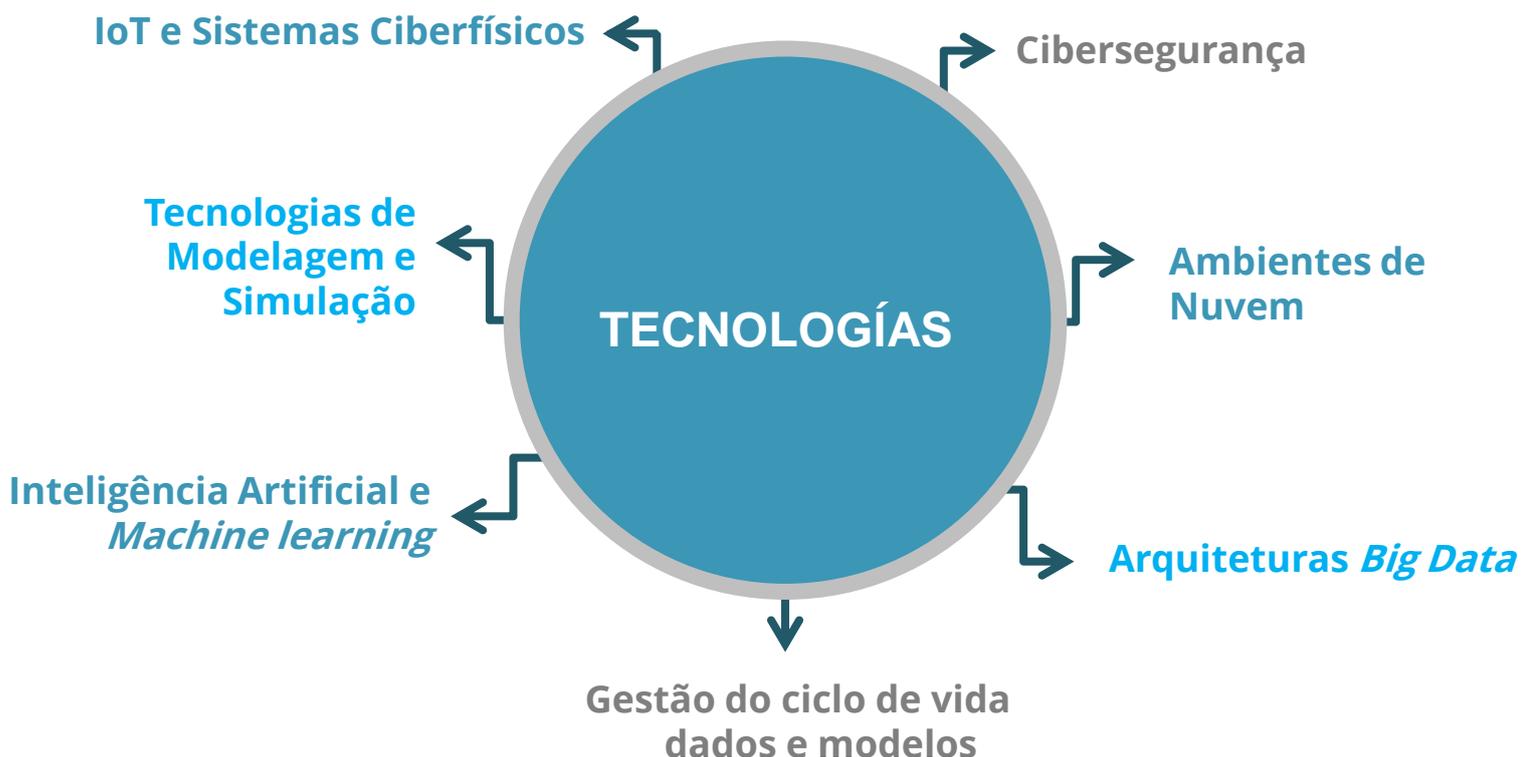
Neste relatório, trabalhamos num conceito de gémeo digital “inteligente”, que é composto por uma série de tecnologias disruptivas que lhe proporcionam um valor agregado de alto nível.

É a representação virtual de um ativo físico, que interage com o mesmo em todos os momentos. Por conta disso, existem diversas tecnologias que, por um lado, facilitam essa interação com o mundo físico, e também aquelas que operam diretamente no mundo virtual,



Composição de um gémeo digital. Fonte: Entso-E

Abaixo listamos os componentes tecnológicos relevantes de um gémeo digital.



Integração com IoT e Sistemas Ciberfísicos

A Internet das Coisas (IoT)

Refere-se à rede de objetos físicos que foram equipados com sensores, software e outras tecnologias. O seu objetivo é conectar, comunicar e trocar dados com uma ampla variedade de dispositivos e sistemas, através da Internet.

Os dispositivos IoT podem ser:

- Atuadores: que executam alguma ação num processo físico.
- Sensores: que adquirem dados e os enviam para outro lugar.

A operação de sistemas IoT envolve o envio, recebimento e análise de dados continuamente, permitindo que decisões sejam tomadas com base nas informações recolhidas, tornando-os uma parte crítica da comunicação de um gémeo digital com o mundo físico.

Sistema Ciberfísico (CPS)

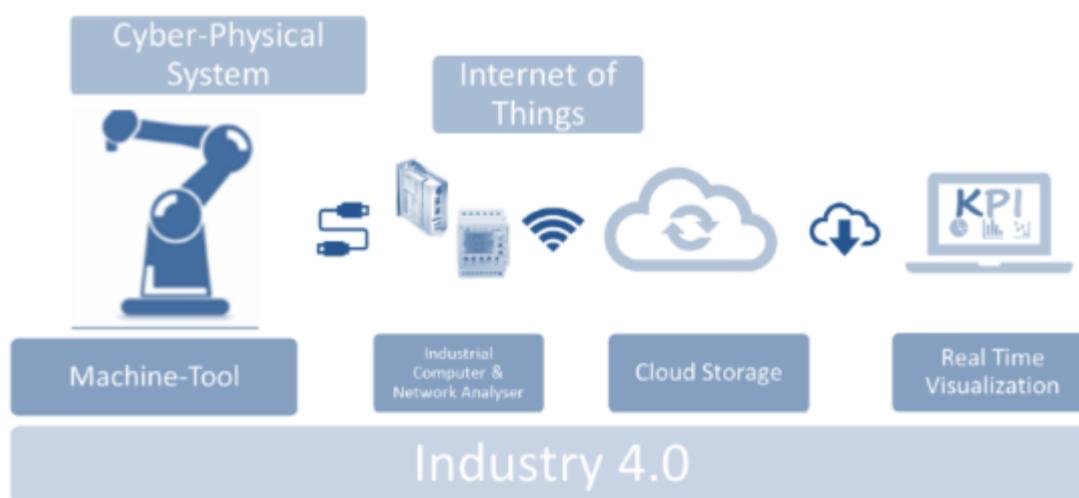
É uma entidade que combina componentes físicos com elementos cibernéticos para criar um sistema integrado. Estes sistemas são projetados para interagir com os mundos físico e digital de forma coordenada.

Algumas das aplicações do CPS são:

- Automatização industrial
- Veículos autónomos
- Cidades inteligentes

Num CPS, os componentes físicos podem ser máquinas, sensores, atuadores ou qualquer outro dispositivo tangível,

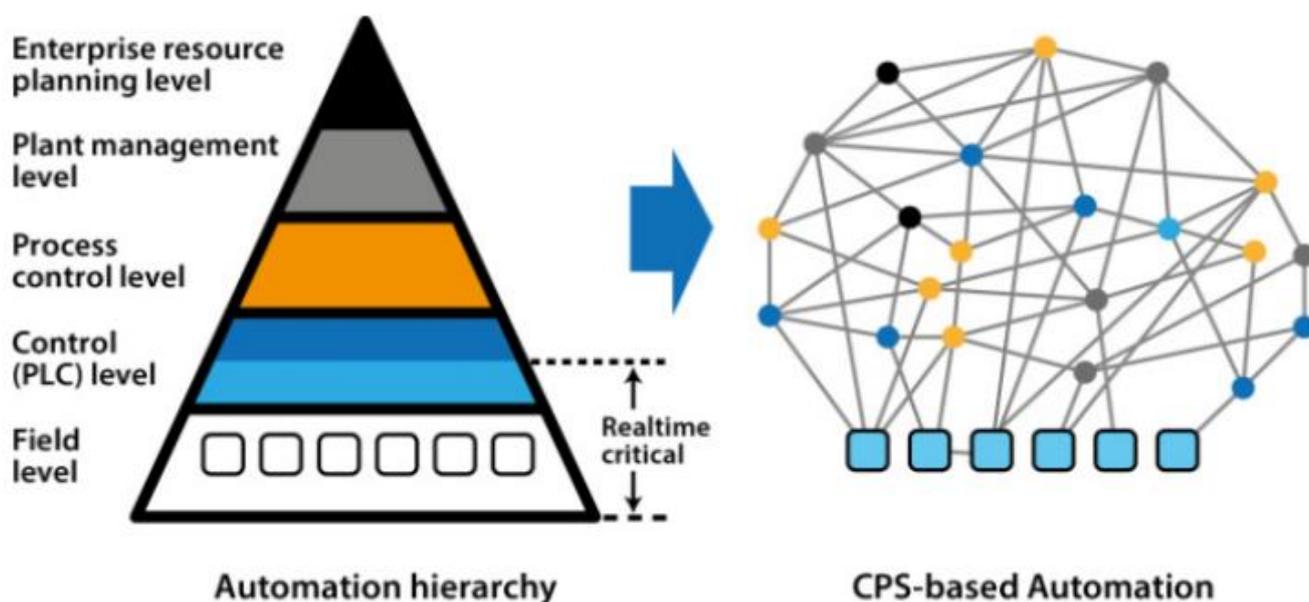
Os elementos cibernéticos incluem software, redes, algoritmos e sistemas de controlo.



Sistemas Ciberfísicos e IoT, e a sua relação com outras tecnologias.

Integração com IoT e Sistemas Ciberfísicos

A aplicação de sistemas ciberfísicos a sistemas de produção é conhecida como CPPS (*Cyber Physical Production Systems*). Neste caso, o uso de tais sistemas num ambiente de produção provoca uma evolução do modelo tradicional de pirâmide hierárquica de automação industrial para uma arquitetura descentralizada na qual elementos de vários níveis se podem comunicar livremente entre si. A utilização de CPPS permite não só que as máquinas utilizadas nos processos produtivos comuniquem, mas também que as pessoas comuniquem a vários níveis (operadores, gestores de linha, gestores de produção, etc.) e que os produtos comuniquem.



Passando de um modelo de automação tradicional para um modelo baseado em CPS.

No campo da IoT, um dos avanços mais relevantes nos últimos anos é a introdução de novas comunicações móveis de quinta geração ou tecnologias 5G.

O design de redes 5G baseia-se numa análise inicial aprofundada dos setores verticais (Indústria, Energia, Automóvel e eHealth, entre outros) e na avaliação das necessidades de um vasto conjunto de casos de uso e cenários de aplicação para estes setores.

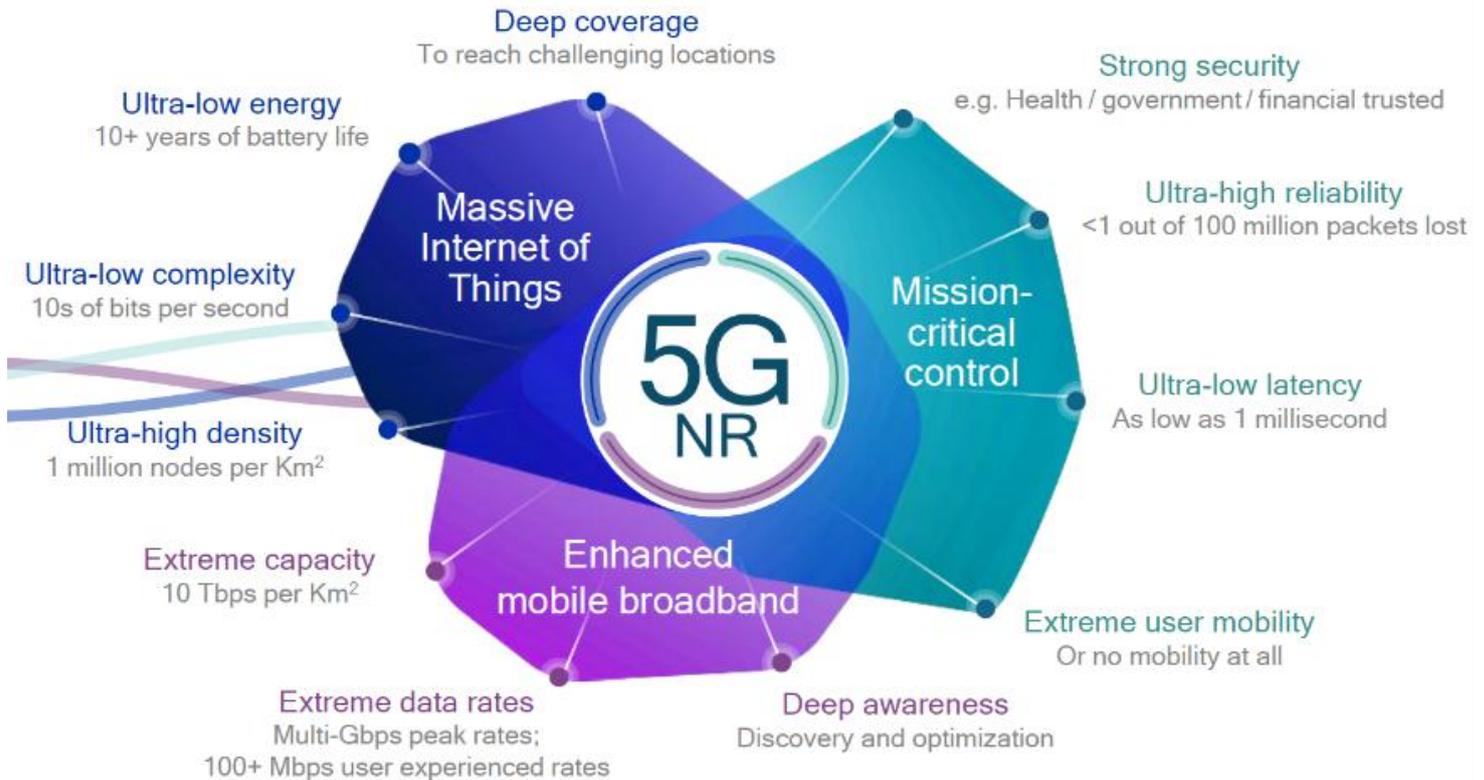
Cada um destes setores tem diferentes necessidades de conectividade, exigindo diferentes categorias de serviços.

O 5G representa uma mudança de paradigma focada em atender à ampla gama de necessidades desses setores verticais numa infraestrutura comum que permite a definição de serviços com diferentes características.

Integração com IoT e Sistemas Ciberfísicos

Com base nesta análise, definem-se três categorias de serviços com características diferenciadas:

- eMBB (banda larga móvel melhorada).
- mMTC (comunicações massivas do tipo máquina).
- URLLC (Comunicações Ultraconfiáveis de Baixa Latência).



Categorias de serviços 5G.

No âmbito dos gémeos digitais, todas estas categorias de serviços são relevantes. Será necessária uma maior largura de banda, especialmente para as aplicações em que os fluxos de vídeo estão envolvidos, tais como sistemas de realidade mista ou virtual. Os gémeos digitais irão recolher dados de milhares de sistemas sem fio de uma só vez para construir a representação virtual, e as baixas latências serão relevantes para múltiplas aplicações, especialmente aquelas que são críticas dentro do âmbito industrial, acima de tudo.

Tecnologias de Modelagem e Simulação

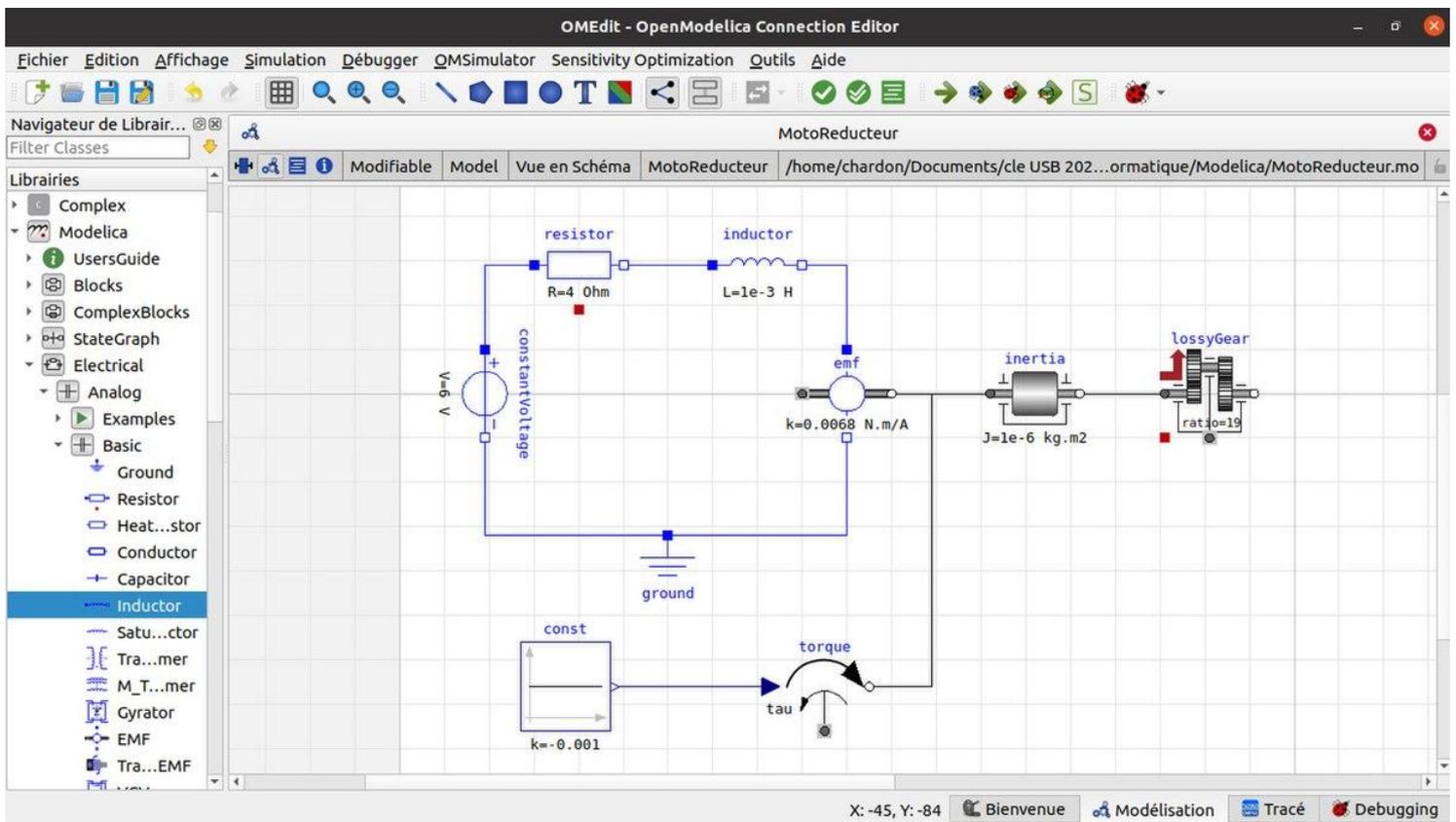
Modelica

Uma das principais ferramentas de base dentro deste campo é a **Modelica**. A Modelica é uma linguagem de alto nível usada para descrever o comportamento matemático de sistemas de vários tipos. É principalmente aplicado a sistemas de engenharia e permite descrever facilmente o comportamento de diferentes tipos de componentes de engenharia, como molas, resistores, embreagens, entre outros.

Em particular, permite:

- Conexão de vários blocos de construção reutilizáveis;
- Modelações com equações matemáticas em vez de modelos empíricos ou tabelas de dados, com o objetivo de expressar relações físicas e dinâmicas;
- Conexão de forma flexível para construir sistemas maiores e mais complexos,

Cabe ressaltar, por exemplo, a OpenModelica, uma open source gerida por uma organização sem fins lucrativos, o Open Source Modelica Consortium (OSMC).



Exemplo de uma interface de utilizador para um modelo de motor DC feito com a OpenModelica.

Tecnologias de Modelagem e Simulação

SimScape

É uma extensão do Simulink que fornece ferramentas para modelar e simular sistemas físicos multidomínio. Permite descrever sistemas físicos que contêm componentes mecânicos, hidráulicos, elétricos, entre outros, como redes físicas. Também pode criar modelos de componentes físicos com base em conexões físicas e diagramas de blocos dentro do ambiente Simulink. Estes modelos podem abranger vários domínios físicos, como mecânico, elétrico, térmico e muito mais. Além disso, proporciona bibliotecas com milhares de componentes, incluindo resistências, válvulas, acionamentos elétricos, transmissões, permutadores de calor, etc.

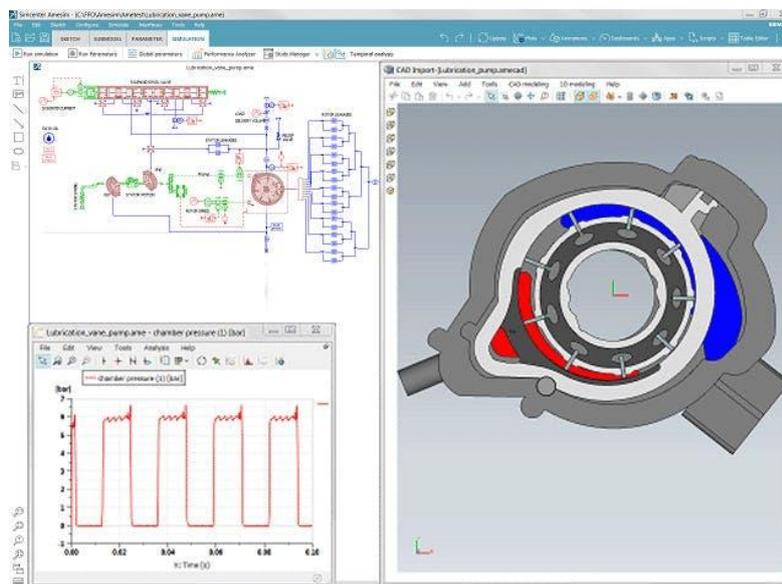
Também podem ser criados componentes personalizados usando a linguagem de modelação SimScape, que é baseada no MATLAB. Esta ferramenta suporta ainda a geração de código C para implementar os modelos em sistemas em tempo real.

Em resumo, o SimScape é uma ferramenta poderosa para modelar, simular e analisar sistemas físicos complexos, e é amplamente utilizado em áreas como engenharia, robótica e automação.

Sincenter Amesim

Uma plataforma de simulação de sistemas que permite que o pessoal de engenharia de projeto avalie e otimize o desempenho do sistema virtualmente. Esta ferramenta enquadra-se no campo da engenharia mecatrónica e é usada para modelar, analisar e prever o comportamento de sistemas multidomínio.

Este pode ser facilmente acoplado com engenharia assistida por computador (CAE), projeto assistido por computador (CAD) e pacotes de software de controlo. Também suporta Functional Mockup Interfaces (FMIs) e conecta-se com outras soluções Simcenter e software Teamcenter.

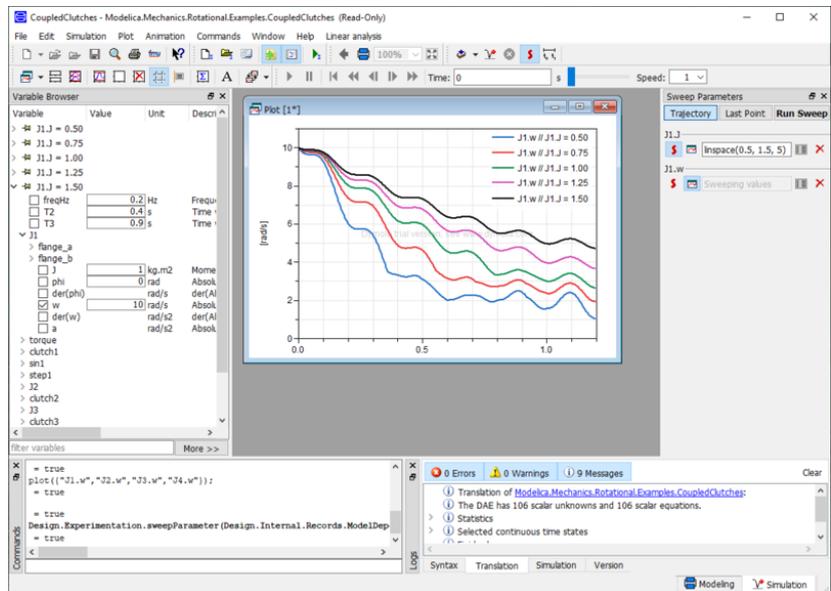


Interface Simcenter Amesim. Fonte: Siemens

Tecnologias de Modelagem e Simulação

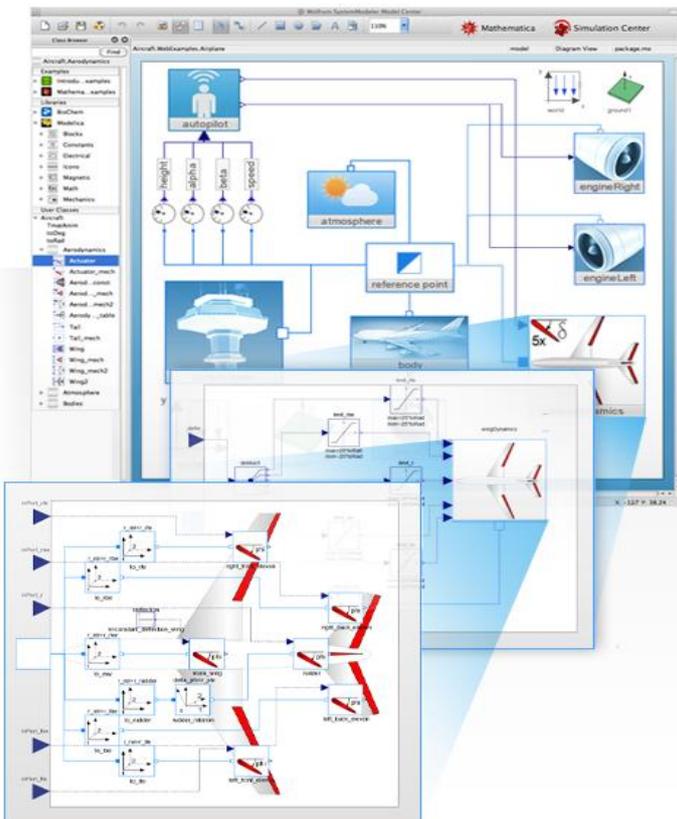
Dymola

É uma ferramenta completa para modelagem e simulação de sistemas integrados e complexos criada pela Dassault Systèmes. O Dymola baseia-se em Modelica e FMI (*Functional Mock-up Interface*), permitindo resolver vários problemas de análise e modelação de sistemas. As bibliotecas da Modelica, desenvolvidas por especialistas em cada área, são usadas em conjunto com a Dymola para modelar e simular o comportamento de sistemas complexos.



Exemplo de interface Dymola.

Wolfram System Modeler



É um ambiente de modelagem e simulação de última geração para sistemas ciberfísicos. Projetada para ser fácil de usar, esta ferramenta permite que você crie modelos multidomínio de sistemas inteiros usando uma interface simples. Tal como acontece com as outras ferramentas discutidas, a seleção de bibliotecas de modelagem incorporadas e extensíveis facilita a construção de modelos de alta qualidade e robustez industrial. Uma das principais características do *Wolfram System Modeler* é a sua integração com a *Wolfram Language*. Os utilizadores podem criar, simular e analisar modelos com facilidade, aproveitando solucionadores numéricos eficientes e animação automática de componentes mecânicos 3D.

Wolfram System Modeler num caso de aviação.
Fonte: Wolfram

Tecnologias de Modelagem e Simulação

Open Simulation Platform (OSP)

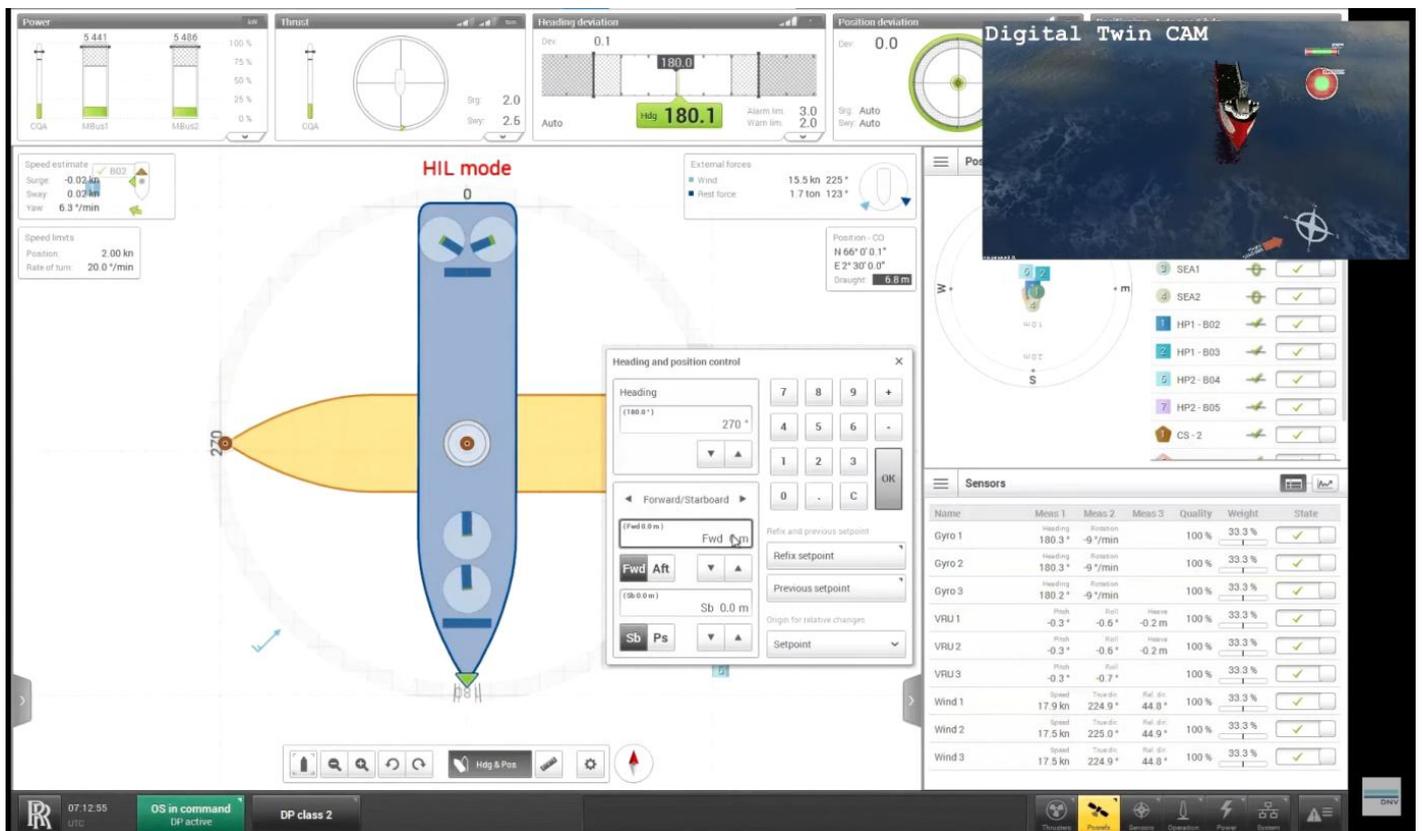
É uma ferramenta de simulação utilizada no ambiente marinho.

É uma iniciativa da indústria de código aberto que se concentra na co-simulação de equipamentos, sistemas e navios inteiros marítimos.

Visa dar resposta aos desafios relacionados com a conceção, construção, operação e subscrição de ativos marítimos e offshore.

A sua principal característica é a reutilização de modelos de simulação. O OSP permite que modelos de simulação e equipamentos digitais sejam reutilizados em diferentes organizações sem expor informações confidenciais. Isto é alcançado através da proteção de modelos e software de controlo dentro de executáveis de caixa preta.

O OSP concentra-se na integração de sistemas virtuais. Este conecta modelos e sistemas de controlo de diversas ferramentas de simulação e linguagens de programação numa grande co-simulação, utilizando o padrão Functional Mockup Interface (FMI) para facilitar a integração de sistemas virtuais.



Tela de interface da ferramenta de simulação. Fonte: OSP

Aplicação de IA

A AI-DTS (AI for Digital Twin Systems) pode ser descrita como um conjunto de métodos baseados em IA (Inteligência Artificial) e ML (Machine Learning) para a criação e desenvolvimento de sistemas avançados de apoio à decisão.

Inclui fundamentalmente metodologias de aprendizagem não supervisionada para a deteção de anomalias; e métodos de aprendizagem supervisionada para resolver problemas de regressão e classificação com dados tabulares e de séries temporais. Abaixo está uma breve revisão destes diferentes métodos.

MÉTODOS NÃO SUPERVISIONADOS

A deteção de anomalias é a análise automática e não supervisionada de um conjunto ou fluxo de dados (por exemplo, a saída de sensores que monitorizam variáveis de condição de uma máquina ou robô) para detetar desvios significativos da sua distribuição de probabilidade habitual o mais rapidamente possível.

Abordagens atuais	
Algoritmos baseados em probabilidades	Baseiam-se em métodos estatísticos que analisam o conjunto de dados de entrada para construir um modelo com o objetivo de detetar valores que se desviam da sua distribuição de probabilidade original.
Algoritmos baseados na proximidade	Em espaços multidimensionais, um ponto tem uma alta densidade se os seus vizinhos estão muito próximos dele, por outro lado, considera-se que tem uma baixa densidade quando os seus vizinhos estão muito próximos uns dos outros, mas não perto dele. Esta medida de densidade ou distância entre vetores multivariados é amplamente utilizada e explorada de várias maneiras em múltiplos algoritmos para deteção de anomalias.
Ensembles	Os métodos baseados em Ensemble combinam diferentes agrupamentos de algoritmos para detetar anomalias em conjuntos de dados multivariados de forma não supervisionada.
Redes neurais	Alguns dos métodos mais recentes para deteção de anomalias usando técnicas de aprendizagem não supervisionada incluem o uso de algoritmos de aprendizagem profunda. Estas propostas são fundamentalmente baseadas em diferentes arquiteturas de redes neurais treinadas para a descoberta de <i>outliers</i> em conjuntos de dados de entrada.

Aplicação de IA

A tabela abaixo identifica os principais pacotes de software e código aberto que implementam os principais algoritmos de deteção de anomalias.

TIPO	NOME	LINK
Algoritmos baseados em probabilidades	ECOD	https://pyod.readthedocs.io/en/latest/
	COPOD	https://github.com/winstonll/COPOD
		https://pyod.readthedocs.io/en/latest/
	ABOD	https://cran.r-project.org/web/packages/abodOutlier/index.html
		https://github.com/MarinYoung4596/OutlierDetection
Ensembles	RRCF	https://klabum.github.io/rrcf/
	XGBOD	https://github.com/yzhao062/XGBOD
	SUOD	https://github.com/yzhao062/SUOD
		https://pyod.readthedocs.io/en/latest/
Redes neurais	Autoencoders	https://docs.h2o.ai/h2o/latest-stable/h2o-py/docs/_modules/h2o/estimators/deeplearning.html
		https://cran.r-project.org/web/packages/ANN2/index.html
	VAE	https://pyod.readthedocs.io/en/latest/

Aplicação de IA

MÉTODOS SUPERVISIONADOS

É um tipo de aprendizagem automática em que um algoritmo aprende a partir de um conjunto de dados com pares de exemplos de entradas-saídas. Estes modelos são utilizados para resolver problemas de classificação e/ou regressão, e a tipologia difere de acordo com o tipo de dados a serem analisados.

Dados tabulares

Dados tabulares são definidos como dados que podem ser representados numa estrutura bidimensional na qual cada linha representa um registo e onde cada registo geralmente tem várias colunas. Os valores de cada célula nesta estrutura podem ser numéricos, categóricos ou texto, e não têm dependência temporal estrita uns dos outros.

Os algoritmos normalmente utilizados para este tipo de dados são baseados em agrupamentos ou conjuntos de árvores de decisão. Esta disciplina é conhecida como ensemble learning.

Séries Temporais

Uma série temporal é uma sequência de dados medidos em determinados momentos e ordenados cronologicamente. Para a análise de séries temporais, são utilizados métodos que ajudam a interpretá-las e que permitem extrair informação representativa sobre as relações subjacentes na série, ou entre diferentes séries, e que permitem extrapolar para diferentes graus e com diferente confiança e prever o seu comportamento no futuro.

Os algoritmos de modelagem de séries temporais mais clássicos incluem modelos estatísticos como ARIMA e as suas variantes, ou Holt-Winters, entre outros. No entanto, estes foram recentemente substituídos por outros baseados em Deep Learning (DL), capazes de analisar séries temporais multivariadas mais longas, com padrões de comportamento mais complexos.

Outras técnicas

Esta seção inclui outros métodos e conceitos novos de grande interesse relacionados com a aplicação da IA em gémeos digitais.

Geração de dados sintéticos

Existem várias propostas para a geração de dados sintéticos baseados em aproximações probabilísticas, tais como: a geração de dados discretos usando árvores de decisão ou cópulas para a simulação de séries temporais não linearmente correlacionadas.

Aplicação de IA

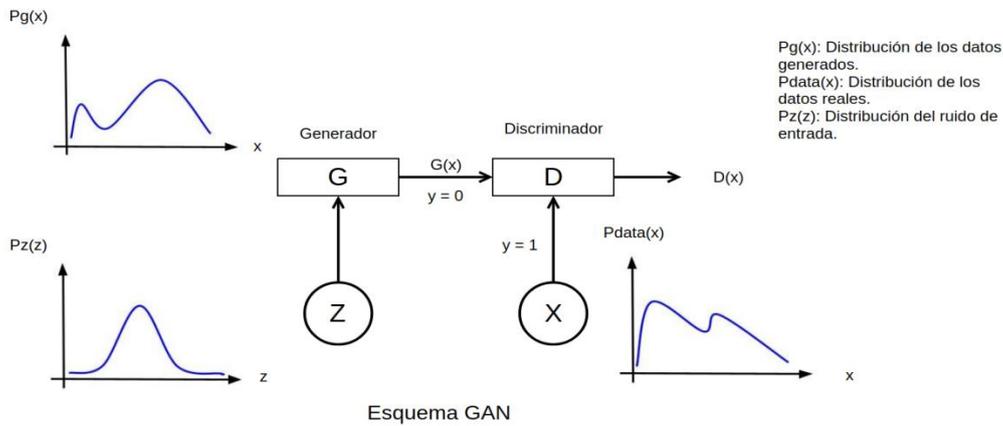
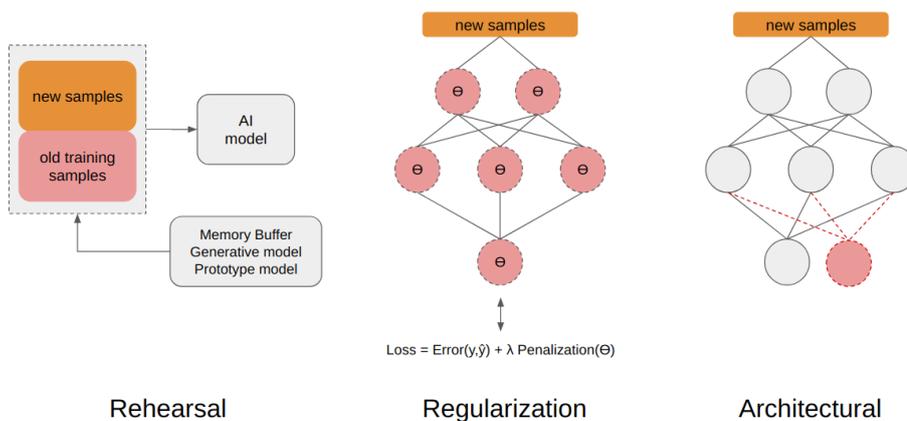


Diagrama de blocos de um modelo GAN.

Aprendizagem incremental

A Aprendizagem ao Longo da Vida (LL) é um paradigma de aprendizagem automática que se refere à capacidade dos modelos de IA de aprenderem continuamente ao longo do tempo, adaptando novos conhecimentos enquanto retêm experiências previamente adquiridas.

Os métodos propostos na literatura científica para conceber e implementar modelos robustos de aprendizagem incremental dividem-se principalmente nas seguintes categorias: arquiteturas dinâmicas, regularização e repetição de memórias (ou *ensaio*).



Estratégias *Lifelong Learning*.

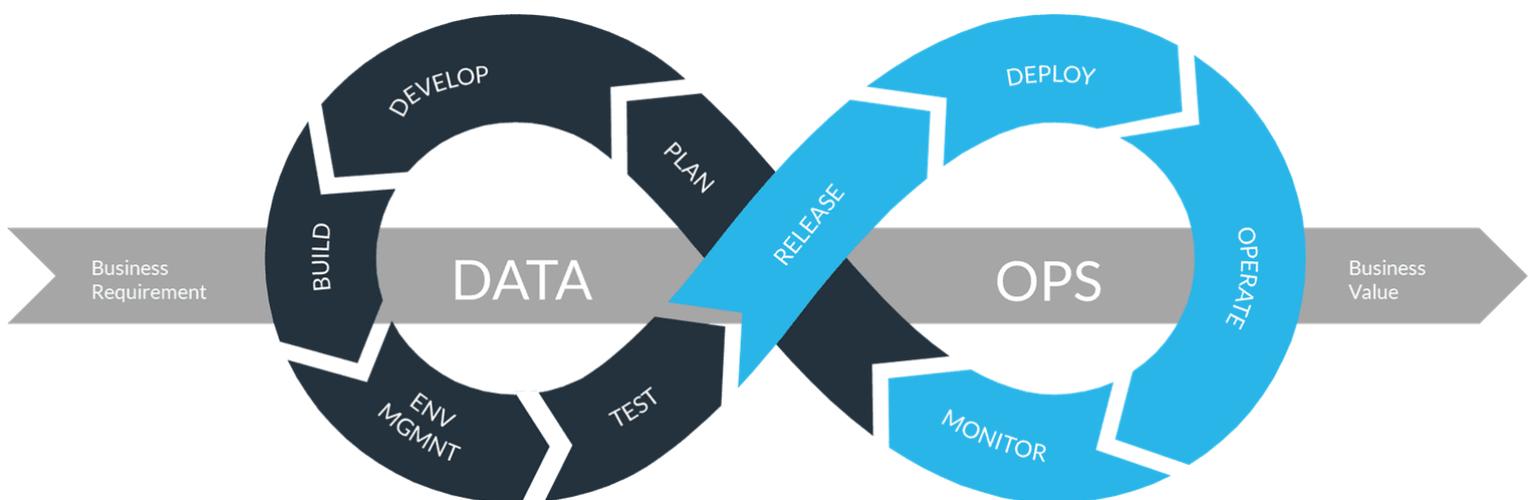
Gestão do ciclo de vida de dados e modelos em Gémeos Digitais

As empresas e organizações de hoje recolhem grandes quantidades de dados diariamente, a fim de melhorar diferentes aspetos de seus negócios e otimizar os processos de tomada de decisão com base nas análises resultantes. Estes dados podem ser utilizados por um Gémeo Digital facilitando a interligação de dados entre as diversas entidades ou funcionalidades que deles fazem uso.

Este tipo de gestão e análise é especialmente relevante no âmbito da Indústria 4.0, uma vez que a quantidade de dados associados à atividade diária que podem ser recolhidos aumenta exponencialmente à medida que aumenta a dimensão do processo industrial e o seu grau de digitalização. Este crescimento, juntamente com a necessidade de empregar novas tecnologias para o desenvolvimento de soluções de inteligência artificial, está a originar ineficiências significativas na gestão do ciclo de vida dos dados e modelos analíticos, bem como no desenvolvimento de aplicações relacionadas.

Qualquer indústria que aspire a tornar-se uma empresa orientada por dados deve ter como objetivo orientar todos os processos de produção para o valor intrínseco e global dos dados geridos. No entanto, quanto mais dados são recolhidos, mais difícil é extrair valor. No contexto da Indústria 4.0, isto é mais importante, pois é necessário processar a informação no tempo adequado, de forma a detetar vários problemas que possam surgir.

Consequentemente, em ambientes onde os volumes de dados a serem processados são potencialmente grandes, é de vital importância a concentração na gestão do ciclo de vida dos dados, que é conhecida como DataOps. DataOps por vezes é definido como a convergência entre DevOps e Big Data. Assim, DataOps pode ser visto como uma extensão do DevOps que se concentra na gestão de dados, especificamente na monitorização contínua e gestão dos dados que entram no sistema. A gestão adequada de dados é crucial quando se trata de implementar sistemas escaláveis e mover esses sistemas para ambientes de produção, particularmente no ambiente industrial. Esta gestão afeta todas as fases do ciclo de vida dos dados, desde o momento em que são ingeridos até que, uma vez processados, se tornam elementos acionáveis úteis para a tomada de decisões.



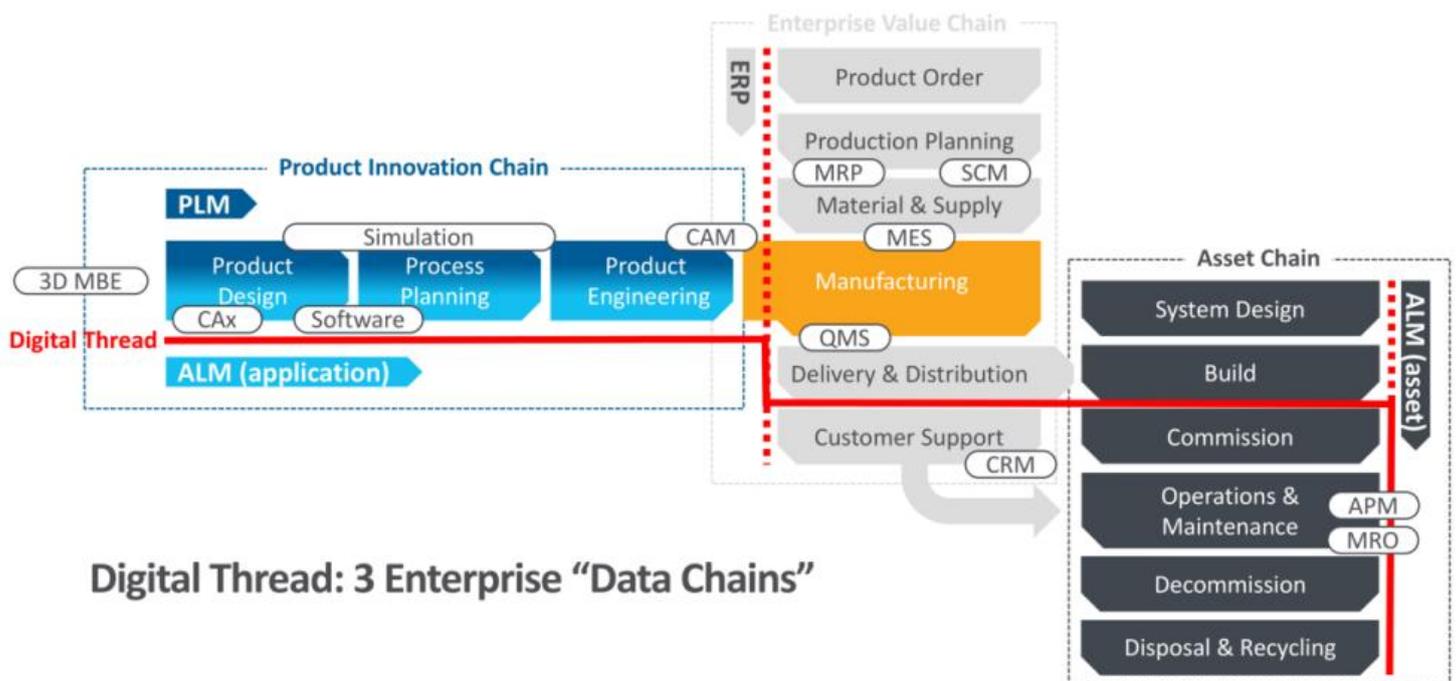
Ciclo DataOps. Fonte: TuringGears

Gestão do ciclo de vida de dados e modelos em Gémeos Digitais

A abordagem conhecida como **MLOps** visa a gestão eficiente dos modelos e aplicações de inteligência artificial de uma solução analítica. Esta metodologia fornece diretrizes para a racionalização de processos e iterações frequentes típicas do desenvolvimento de modelos analíticos. Uma das chaves é ser capaz de gerir adequadamente toda a informação relacionada com conjuntos de dados e modelos: versões, parâmetros de formação, precisões alcançadas, etc., e simultaneamente monitorizar o desempenho destes modelos uma vez colocados em produção, aplicando técnicas de formação contínua e detetando possíveis fenómenos de degradação.

Algumas ferramentas como MLflow ou Kubeflow podem facilitar muito este objetivo. De uma forma geral, a ideia é ter um conjunto de ferramentas de *Big Data* especializadas na gestão de dados e metadados associados aos processos de fabrico. Estas tecnologias, por sua vez, possibilitarão a construção de uma série de métricas para a monitorização contínua da precisão, desempenho e consumo de recursos.

Devemos também destacar um aspeto específico do mundo dos Gémeos Digitais, em termos da gestão do ciclo de vida dos dados ou informações de um produto ao longo da sua vida útil. Alguns autores separam esta ideia do conceito de Gémeo Digital, chamando-lhe *Digital Thread*.



Digital Thread: 3 Enterprise "Data Chains"

Esquema de Digital Thread. Fonte: Challenge Advisory

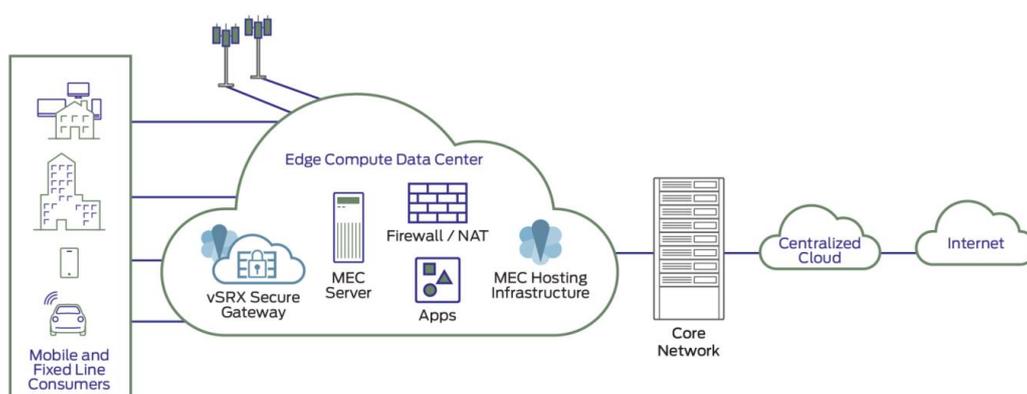
Arquiteturas *Big Data*

Os gémeos digitais, especialmente aqueles que são do tipo composto e nos quais estão envolvidas enormes fontes de informação, podem necessitar de arquiteturas específicas para facilitar o processamento dos dados tratados e a extração de valor dos mesmos através de algoritmos de IA/ML.

Realizar análises de *big data* significa extrair conhecimento de forma interpretável e oportuna de dados cujo tamanho (volume), complexidade (variabilidade) e velocidade de crescimento (velocidade) dificultam a captura, gestão, processamento ou análise usando tecnologias e ferramentas convencionais dentro do tempo necessário para serem úteis.

Os desafios que normalmente surgem para esses sistemas de *big data* são os seguintes:

- **Volume:** dimensão para lidar com dados em constante crescimento.
- **Variabilidade:** análise de vários dados, estruturados e não estruturados (por exemplo, imagens, texto livre, etc.)
- **Velocidade:** por exemplo, para processamento de dados de *streaming*.
- **Veracidade:** para construir confiança nos próprios dados e nos algoritmos que lhes são aplicados. Muitos padrões e operações do setor exigem o mais alto nível de precisão de dados.
- **Valor:** ter muitos dados não é útil se não puderem ser aproveitados.
- **Variabilidade:** existem dados cujo significado muda continuamente.
- **Visualização:** os dados devem ser legíveis e acessíveis.



Multi-access Edge Computing. Fonte: Juniper Networks

Tecnologias de aplicação

Estado da arte

Arquiteturas *Big Data*

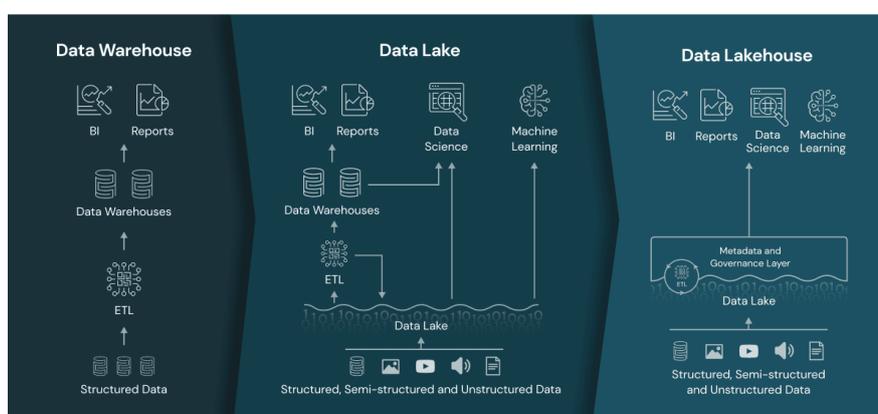
As principais tendências no âmbito do *Big Data* são as seguintes:

Fluxo de trabalho de análise de *Big Data*

Este processo consiste nas seguintes atividades: ingestão, armazenamento, processamento, visualização e orquestração.

Data Lakehouse

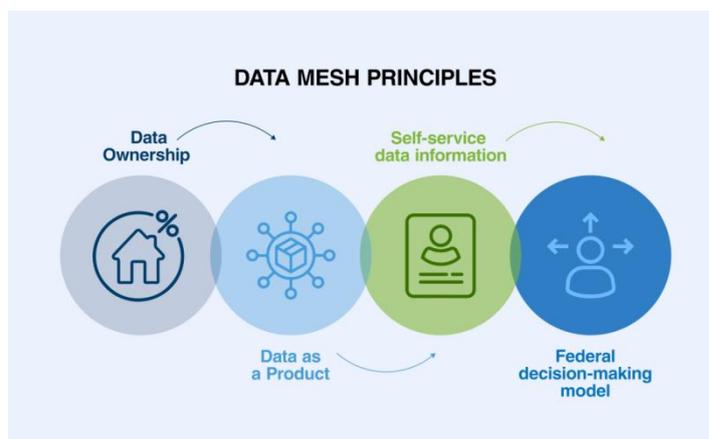
O paradigma *Lakehouse* aborda estas complexidades de trabalhar com *Big Data* com uma arquitetura que, por *design*, reúne o melhor dos *data warehouses* e dos *data lakes*.



Evolução em direção ao paradigma *Lakehouse*. Fonte: databricks.com

Data Mesh

Esta metodologia é uma mudança de paradigma no desenho de arquiteturas de dados que enfatiza a descentralização de dados dentro de uma organização. Os dados são tratados como um produto e geridos por equipas multifuncionais de especialistas no assunto, em vez de serem geridos por uma única equipa de dados.



Princípios *Data Mesh*. Fonte: elcodigoperfecto.blog

Ambientes *Cloud Native*

A computação em nuvem consiste em servir recursos de TIC a partir da *Internet*.

Os três modelos de serviço mais populares atualmente são Infraestrutura como Serviço (IaaS), Plataforma como Serviço (PaaS) e Software como Serviço (SaaS).

- A IaaS fornece recursos virtuais que são executados em *data centers* remotos, como computação, armazenamento e rede.
- O PaaS fornece ambientes de software remotos para o desenvolvimento, implementação e gestão de aplicações.
- O SaaS fornece aplicações de software para utilizadores finais ou outras aplicações.

Por outro lado, a forma como a *Cloud Computing* modificou os ambientes de desenvolvimento e execução, tornando-os mais dinâmicos, teve impacto nas metodologias e arquiteturas de software. Um exemplo claro pode ser encontrado em metodologias ágeis e arquiteturas de microsserviços.

O *Edge Computing*, por exemplo, aproveita recursos computacionais próximos do utilizador final para resolver alguns problemas identificados no *Cloud Computing*, como a latência devido à distância entre os recursos de *Cloud* e o utilizador final.

Nos novos modelos de serviço, destacamos o conceito de "*serverless*", em que o cliente fornece fragmentos de código que funcionam de forma autónoma. O fornecedor de Cloud é responsável pela gestão e alocação dinâmica de recursos, cobrando apenas pelos instantes temporários em que a função é chamada e o código é executado.

Em termos de metodologias e arquiteturas de software, a tendência atual leva-nos a seguir abordagens *Cloud Native* e ao desenvolvimento de aplicações baseadas em microsserviços, *containers* e orquestração.

Finalmente, o mundo das redes não tem sido imune ao processo geral de virtualização que o mundo das TI tem sofrido. Existem duas tecnologias de rede que surgiram como as principais nas novas arquiteturas de rede virtualizada: *Software Defined Networking* (SDN) e *Virtualized Network Functions* (NFV).

As principais tendências no campo das tecnologias de nuvem são:

- *Cloud-native Computing*
- *Containers & Orquestração*
- *Serverless & Function as a Service (FaaS)*
- *Service Mesh*
- *GitOps*
- *Multiclouds*
- *Multi-access Edge Computing*

Cibersegurança em Gémeos Digitais

Por último, mas não menos importante, encontramos a cibersegurança aplicada aos Gémeos Digitais. Devem ser destacadas duas abordagens bem diferenciadas: por um lado, a cibersegurança aplicada à proteção dos Gémeos Digitais no seu âmbito de aplicação e, por outro lado, os Gémeos Digitais da própria infraestrutura de cibersegurança.

Vários serviços de um gémeo digital estão a interagir com ativos reais e, no caso de serem perturbados, podem causar perdas de produção ou eventos mais graves que incorram em perdas económicas ou mesmo humanas.

Quando um hacker localiza um ponto de acesso, pode alterar o comportamento do gémeo ou entrar no sistema físico, o que poderia dar-lhe acesso até mesmo a outros dados em toda a empresa.

A propriedade intelectual também está em risco. Muitas vezes, um gémeo digital possui propriedade intelectual e, se for submetido a engenharia reversa, o proprietário poderá sofrer pesadas perdas económicas.

É por isso que é essencial abordar a cibersegurança de um gémeo digital desde o início, que é conhecida como segurança por *design*, para mitigar todos estes tipos de riscos e ameaças o mais rápido possível.

Por outro lado, os gémeos digitais da própria infraestrutura de cibersegurança permitem a simulação de ataques e a exploração de contramedidas, sem provocar uma falha do sistema de segurança física. Isto pode incluir deteção de invasões, deteção proativa e solução de problemas de configuração de hardware para evitar falhas críticas ou simulação e testes de segurança.

Tecnologias *Blockchain* e DLTs

É relevante estudar como o Blockchain pode contribuir para a segurança de determinadas operações relacionadas com o gémeo digital.

O blockchain pode ser definido como um registo distribuído, um banco de dados descentralizado, gerido ao mesmo tempo por vários participantes, para que todos concordem sobre quais transações são válidas, em que ordem foram realizadas e que não permitem alterações ao registo. É praticamente impossível excluir ou reverter transações depois de incluídas no blockchain.

Para aumentar a segurança, cada utilizador interage com o *blockchain* com um endereço que não revela a real identidade do utilizador.

Em seguida, realiza-se um estudo sobre o **estado de implementação** destas tecnologias.

Inteligência Artificial (IA)

A Inteligência Artificial (IA) tem sido postulada como a grande revolução tecnológica dos últimos anos e os avanços recentes corroboram este facto. **A utilização da IA a nível empresarial acelerou**, em grande parte devido ao aparecimento da IA generativa, e as empresas começam agora a perceber os benefícios da sua adoção. O mundo empresarial e industrial **entende a IA como uma ferramenta fundamental para obter vantagens competitivas através da automatização e otimização de processos**, e até como uma oportunidade para complementar as capacidades das pessoas, realizando tarefas complexas que estas não poderiam realizar sozinhas.

O lançamento do ChatGPT pela OpenAI, em 2022, pôs em evidência a **IA generativa (GenAI)** e suscitou um grande interesse por parte do mundo empresarial. No início de 2023, as empresas de capital de risco já tinham investido mais de 1,7 mil milhões de euros em soluções de GenAI, sendo os desenvolvimentos relacionados com a indústria farmacêutica, especificamente a descoberta de medicamentos com IA, e a codificação de software assistida por IA os que receberam mais financiamento. **Mas em todos os setores, a IA generativa tem sido vista como uma oportunidade para aumentar a produtividade das empresas.** De acordo com o estudo *The State of Generative AI in the Enterprise* (Deloitte, janeiro de 2024), 70% dos

50%

Das empresas a nível mundial terão concebido plataformas de orquestração de IA para entrar em funcionamento até 2025.

134,8

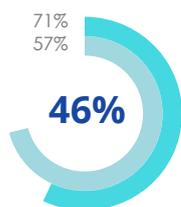
O valor de mercado do software de IA será de milhares de milhões de dólares até 2025.

+80%

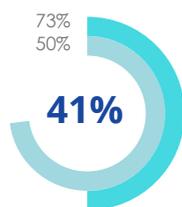
Das empresas globais utilizarão Inteligência Artificial Generativa (GenAI) até 2026.

Projeções da empresa de consultoria tecnológica Gartner

executivos inquiridos esperam que a IA generativa conduza a uma transformação **substancial na sua organização** nos próximos três anos. Os dados deste estudo também revelam que 56% das organizações espanholas inquiridas estão à procura de benefícios táticos, como a melhoria da eficiência/produktividade ou a redução de custos; e apenas 29% esperam benefícios estratégicos, como o aumento da inovação ou o crescimento do negócio, através da adoção da IA generativa. Este estudo também fornece um retrato da adoção da GenAI nos vários setores, destacando o seguinte:



TI / Cibersegurança



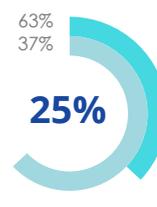
Marketing, vendas e serviço ao cliente



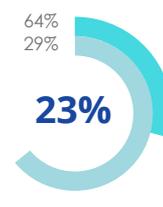
Estratégia e operações



Cadeia de fornecimento / Fabrico



Finanças



Recursos humanos

% Percentagem de empresas que utilizam a GenIA no setor.

Conhecimentos muito elevados

Conhecimento elevado

Inteligência Artificial (IA)

Adoção da IA em Espanha

Ao analisar a implementação da IA hoje em dia, é necessário ir além da IA generativa, uma vez que, embora o seu aparecimento tenha revolucionado e impulsionado a adoção da IA pelas empresas, a indústria

tem de se concentrar em todas as aplicações possíveis da IA. Neste sentido, apresentamos a seguir uma análise das **empresas que utilizam a IA em Espanha por tipo de tecnologia.**

As **grandes empresas estão a liderar a adoção da IA**, registando um crescimento notável



*Porcentagem de empresas com 10 ou mais trabalhadores que utilizam IA, por tipo de tecnologia.

As percentagens de utilização dos diferentes tipos de tecnologias aumentam se a análise for desagregada por dimensão da empresa, destacando-se que a utilização da automatização do fluxo de trabalho ou ajuda na toma de decisões sobe para um 61,5% nas grandes empresas e um 55,8% nas empresas médias; destaca-se também que a utilização de *Machine Learning* atinge 57,2% de utilização nas grandes empresas.

Uma análise por Comunidade Autónoma mostra que Madrid é a Comunidade com maior percentagem de empresas que utilizam a Inteligência Artificial, seguida da Comunidade Valenciana e de Aragón. A Galiza ocupa o quarto lugar, a 0,9 pontos percentuais da média nacional (11,8%).

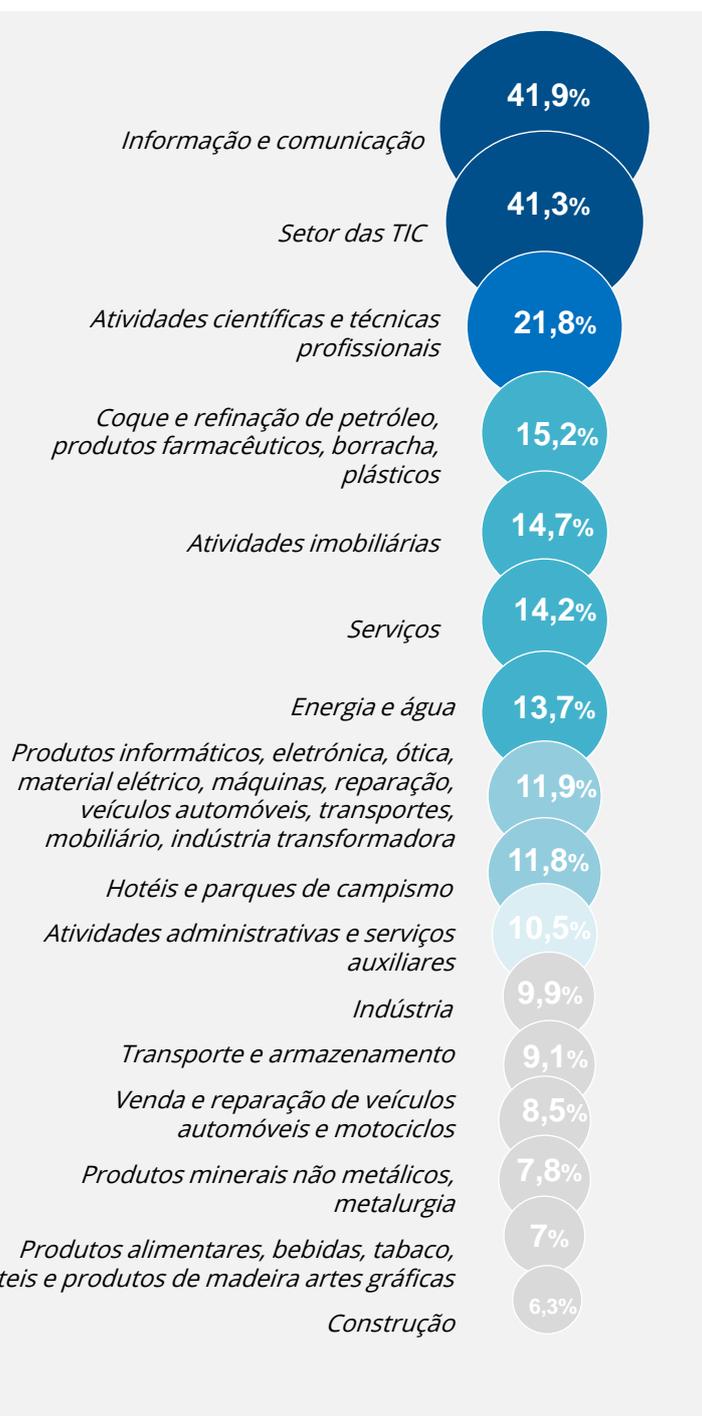


Inteligência Artificial (IA)

Adoção da IA em Espanha

A análise por setor revela uma disparidade relevante entre eles, com o setor da informação e comunicação e o setor das TIC liderando o *ranking*, com percentagens de adoção superiores ao 40%. Esta situação contrasta com a taxa de adoção no setor industrial, que não chega ao 10%:

Contudo, se a análise for feita de acordo com a dimensão da empresa, e se o foco incidir nas médias e grandes empresas, a lista altera-se significativamente com os seguintes setores a liderarem o ranking:



Big Data

Adoção de Big Data em Espanha

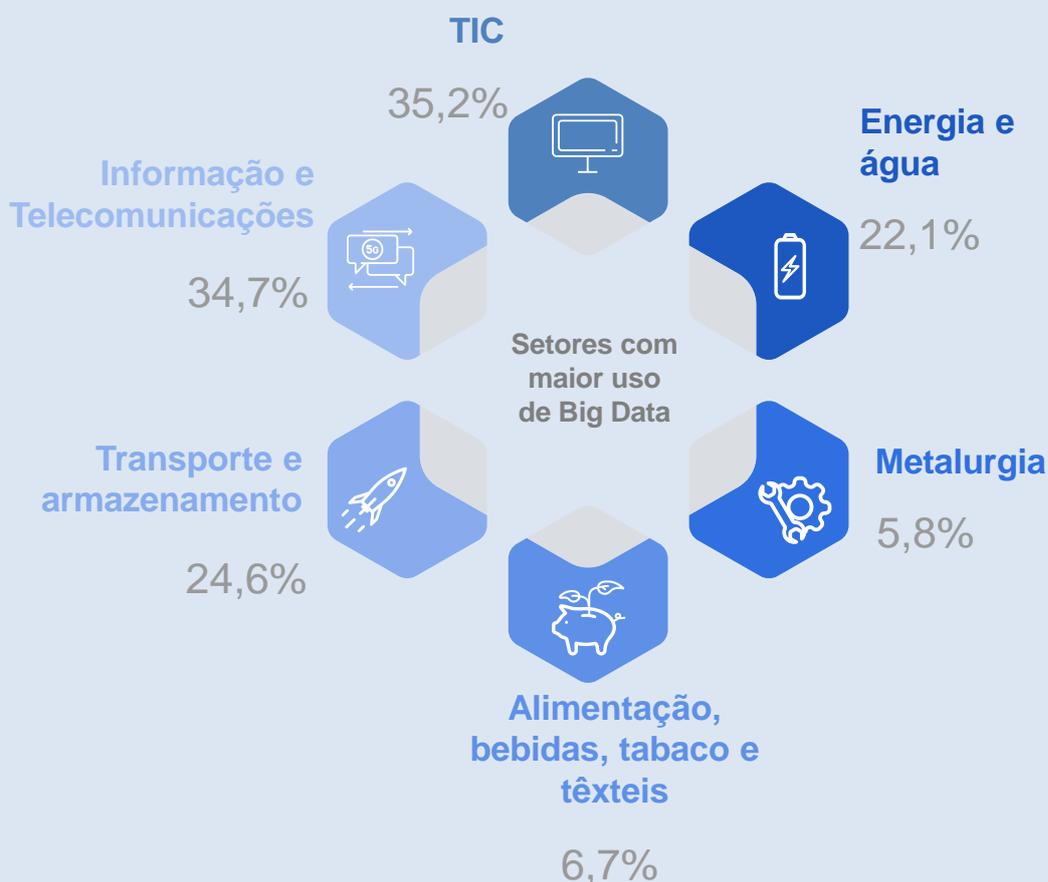
O *Big Data* é outra das ferramentas cuja adoção pelas empresas é fundamental para a digitalização da economia espanhola. **Até 2030, a UE estabeleceu o objetivo de 75% das empresas europeias adotarem serviços de computação em nuvem, *Big Data* e inteligência artificial.** Por seu lado, a estratégia España Digital 2026 estabelece o objetivo de que, até 2025, **25% das empresas espanholas utilizem inteligência artificial e *Big Data*.** A utilização do *Big Data* e da inteligência artificial nas empresas espanholas continua a aumentar de ano para ano, aproximando-se dos objetivos estabelecidos na estratégia España Digital 2026.

A análise de *Big Data* é efetuada a partir de uma grande variedade de fontes e através de diferentes métodos. Em 2022, as fontes de dados mais utilizadas foram:

- **Geolocalização a partir de dispositivos móveis** (55,3% das empresas que analisaram *Big Data*). Isto representa um crescimento de quatro pontos percentuais em relação a 2021.
- **Utilização das redes sociais** (48,6%)

Por outro lado, na adoção de Big Data por setor económico, verifica-se uma diferença de 30 pontos percentuais entre o setor com maior e o setor com menor implementação.

Percentagem de adoção de Big Data

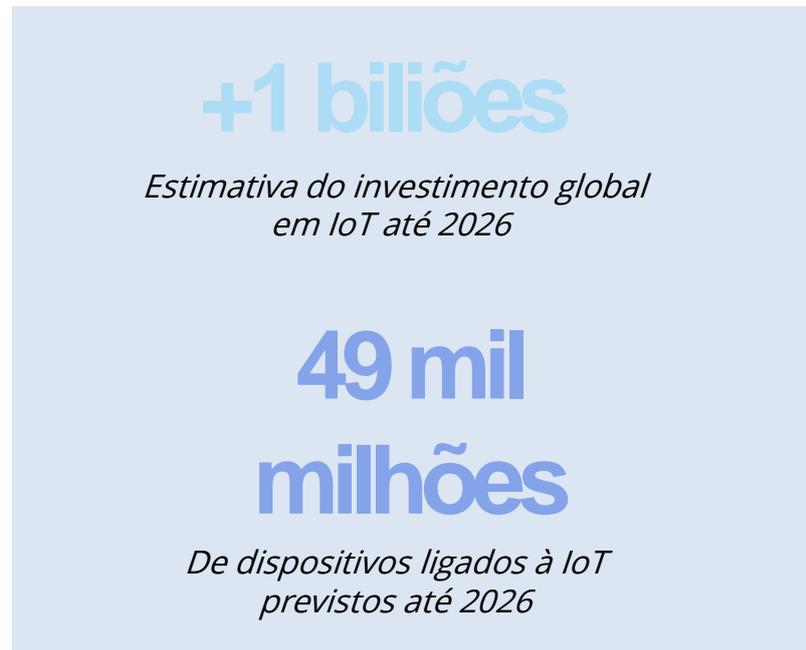


IoT (*Internet of Things*)

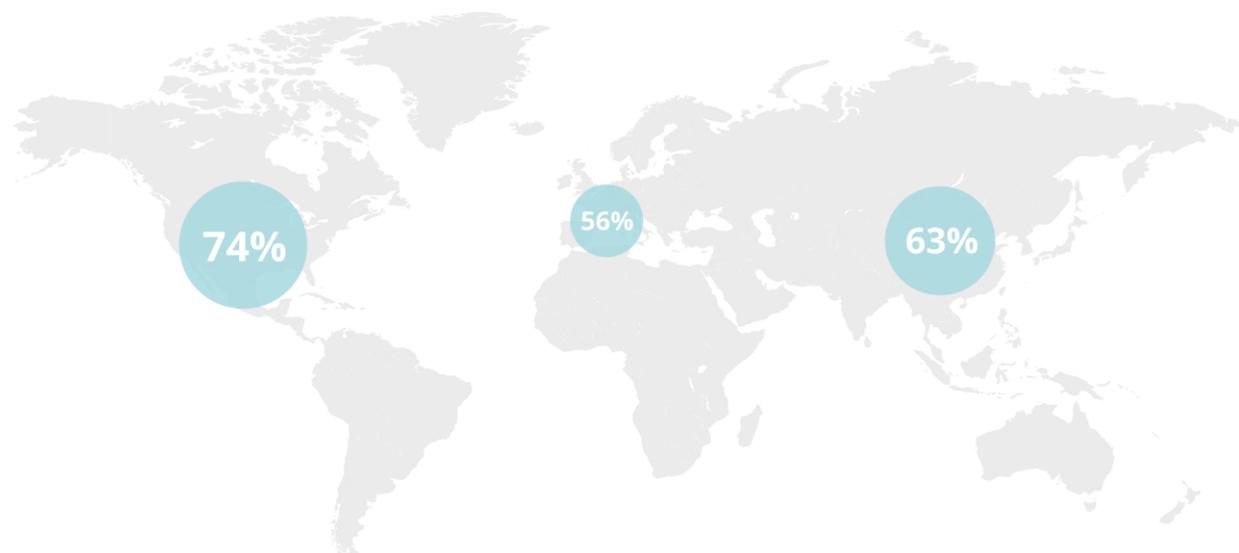
A Internet das Coisas (IoT) está a criar uma transformação acelerada no nosso ambiente, dotando de inteligência digital a uma vasta gama de objetos físicos. **Este poder transformador da IoT está a redefinir completamente a forma de funcionamento das empresas**, permitindo-lhes ser mais ágeis, inteligentes, seguras e eficientes nas suas atividades comerciais.

Nos últimos anos, temos assistido a um crescimento notável na adoção da IoT a nível mundial. No entanto, a COVID-19 atuou como um acelerador desta adoção. Neste novo cenário, **as empresas estão a reconhecer cada vez mais o valor estratégico que a IoT pode proporcionar às suas operações**. A sua capacidade para melhorar a eficiência operacional, otimizar os processos e, mais importante ainda, para se adaptar com agilidade à evolução das necessidades dos clientes tornou-se evidente.

De acordo com o relatório "*IoT Signals: Manufacturing Spotlight*" da Microsoft, 65% das empresas industriais a nível mundial já estão a implementar estratégias de IoT e 30% estão a desenvolvê-las.



Se analisarmos por região, a América do Norte lidera o *ranking* com 74% das empresas a implementar a sua estratégia, enquanto na Europa este número desce para 56%. Em termos dos objetivos visados, o principal objetivo da implementação das estratégias é alcançar uma maior eficiência operacional através do controlo de qualidade e da manutenção preditiva das máquinas.



Tecnologias de aplicação

Estado da arte da implementação

IoT (Internet of Things)

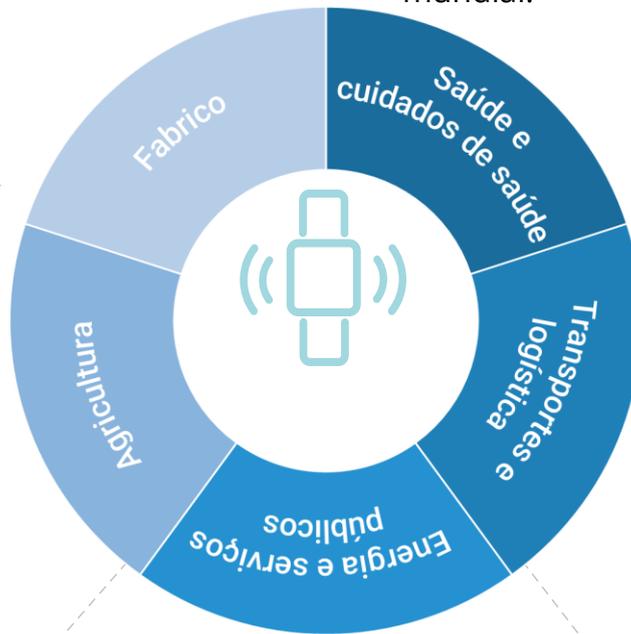
Adoção por setor

No panorama atual, a adoção da Internet das Coisas (IoT) está a desempenhar um papel crucial na evolução de numerosos setores a nível mundial. Desde a indústria transformadora aos cuidados de saúde, transportes e muito mais, a IoT está a fazer uma diferença significativa na forma como

as indústrias funcionam e prestam serviços. Para compreender melhor este fenómeno, os dados e as tendências revelam os setores com a maior adoção da IoT e a forma como estas tecnologias estão a impulsionar mudanças profundas nos respectivos campos.

A utilização destas tecnologias ganhou força neste setor para **melhorar a eficiência operacional e empresarial**. Atualmente, é o setor mais preparado para adotar tecnologia, sendo um dos maiores impulsionadores de tecnologia devido à implementação de conceitos como a Indústria 4.0 e as fábricas inteligentes.

A pandemia de COVID-19 impulsionou a necessidade de **soluções de telemedicina e de monitorização remota dos doentes**. Em 2021, foram enviados 85 milhões de sensores e dispositivos médicos portáteis. Nesta linha, estima-se que o mercado dos dispositivos conectados atinja 612 mil milhões de dólares em 2028 a nível mundial.



Impulsionado pela necessidade de **otimizar a utilização dos recursos, melhorar a produtividade e mitigar os impactos das alterações climáticas**, prevê-se que seja o setor com maior desenvolvimento na implementação da IoT em Espanha.

Assim, o mercado da agricultura de precisão atingirá 10,7 mil milhões de dólares em 2025 a nível mundial.

Para as empresas deste setor, estas soluções são utilizadas para **monitorizar melhor os recursos**, como o controlo das emissões e as despesas de eletricidade. Estima-se que o mercado atinja 39 mil milhões de dólares em 2026 a nível mundial.

A **melhoria da eficiência operacional, a visibilidade da cadeia de abastecimento e a segurança da carga** deram o impulso para a adoção destas soluções na indústria.

Prevê-se que o mercado das soluções IoT atinja 225 mil milhões de dólares em 2025 a nível mundial.

Estima-se que o número de dispositivos da Internet das Coisas (IoT) a nível mundial aumentará de 9,7 mil milhões em 2020 para mais de 29 mil milhões em 2030.

Cloud

A implementação de tecnologias de nuvem, ou "cloud computing", nas empresas espanholas tem sido um tema de crescente interesse e adoção nos últimos anos. Esta abordagem tecnológica revolucionou a forma como as organizações gerem os seus recursos informáticos, permitindo-lhes aceder a uma variedade de serviços e aplicações através da Internet de uma forma flexível e escalável.

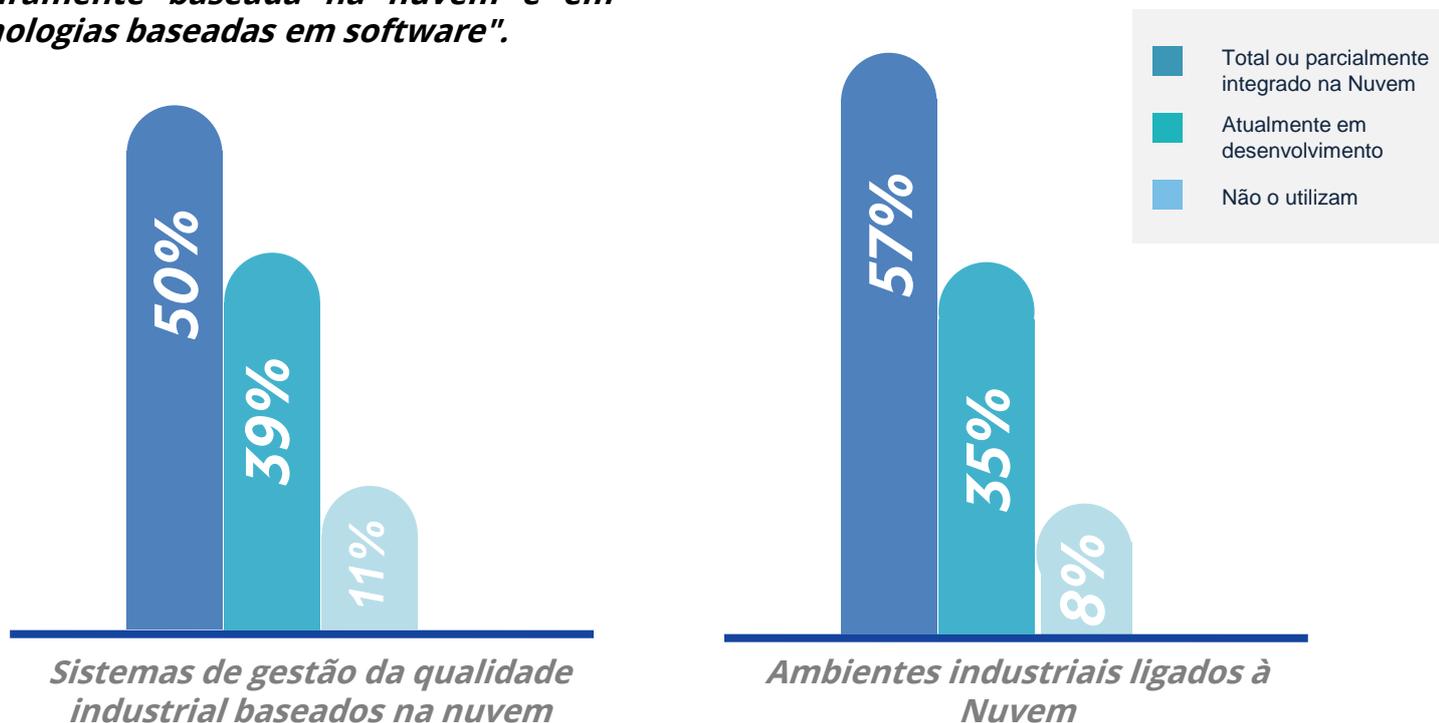
A adoção deste tipo de tecnologia nas empresas espanholas tem sido impulsionada por uma série de fatores. Estes incluem a **crescente digitalização dos processos empresariais**, a **necessidade de se manterem competitivas** num mercado globalizado e a procura de soluções tecnológicas que permitam uma maior agilidade e adaptabilidade às mudanças no ambiente empresarial.

Esta crescente adoção de tecnologias de nuvem também registou um aumento notável nas fábricas e nas empresas de produção. Estudos de mercado de tecnologia realizados pela Microsoft e pela Intel deram este título: **"A automação industrial está a transformar-se numa indústria inteiramente baseada na nuvem e em tecnologias baseadas em software"**.

No mesmo estudo, podemos ver como os sistemas de automação industrial (PLCs, sistemas DCS, IPC, I/O e hardware relacionado) são essenciais para qualquer fábrica que produza bens em grande escala. De certa forma, estes podem ser considerados o coração dos processos de fabricação.

À medida que as fábricas se tornam mais ágeis e modulares, os sistemas de automação devem dar aos utilizadores finais a flexibilidade para alterar as configurações das máquinas em tempo real, fabricar novas variantes de produtos ou ter a capacidade de alterar o fluxo em toda a fábrica. Com muitas fábricas ainda a utilizar equipamento com décadas de existência e com muitas limitações, não é surpreendente que **se estime que os fabricantes planeiem aumentar os investimentos em automação industrial da próxima geração em mais de 29% nos próximos três anos**.

Inquéritos efetuados junto de um grande número de empresas revelam os seguintes dados:



Cibersegurança

A implementação de medidas de cibersegurança tornou-se uma das principais prioridades das empresas espanholas na atual era digital. Com o crescimento exponencial das ciberameaças e a crescente dependência da tecnologia para as operações comerciais, a proteção dos ativos digitais e das informações confidenciais tornou-se crítica.

Em Espanha, tal como noutros países, as empresas enfrentam uma vasta gama de ciberameaças que vão desde ataques de malware e *ransomware* até ao roubo de informações e violações da privacidade. Estas ameaças podem ter consequências devastadoras, incluindo a perda de dados críticos, danos à reputação da empresa e perturbações nas operações comerciais.

Em resposta a este cenário de risco, estão a ser tomadas cada vez mais medidas proativas para reforçar a segurança digital das empresas. Isto inclui a implementação de políticas e procedimentos de segurança robustos, a adoção de **tecnologias de proteção avançadas, como firewalls e sistemas de deteção de intrusões, e a formação do pessoal em práticas de utilização segura da tecnologia.**

Além disso, as empresas espanholas são cada vez mais conscientes da importância de cumprir os regulamentos e normas de cibersegurança, tanto a nível nacional como europeu. Isto inclui o cumprimento de regulamentos como o Regulamento Geral de Proteção de Dados (RGPD) da União Europeia, que estabelece requisitos rigorosos para a proteção de dados pessoais.

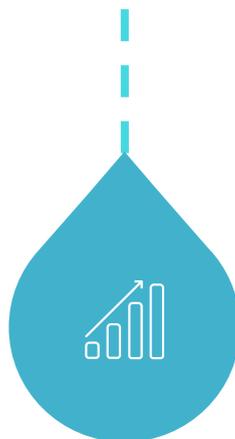
Medição orientada para os resultados

Para concretizar uma estratégia de investimento em cibersegurança nas organizações, é necessário concentrar-se na medição dos resultados obtidos com a implementação da cibersegurança.



IA e Aprendizagem automática

A IA generativa é um dos desafios a gerir na cibersegurança, mas também pode ser uma oportunidade para apoiar as operações de segurança e a proteção das aplicações.

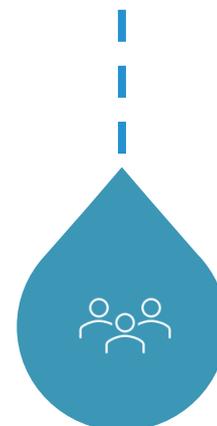


Programas CTEM

Espera-se que as empresas que utilizem um programa de Gestão Contínua da Exposição a Ameaças (CTEM) até 2026 tenham uma redução de dois terços nas ameaças.

Programas de cultura e comportamento de segurança

Até 2027, espera-se que pelo menos 50% dos CISO (*Chief Information Security Officers*) das grandes empresas tenham implementado práticas de conceção de segurança centradas nas pessoas e nas suas estratégias.



Tecnologias facilitadoras no setor da construção naval

O setor naval não é alheio à revolução tecnológica. O setor concentra-se nestas tecnologias com o objetivo de desenvolver soluções inovadoras que apoiem a melhoria da eficiência operacional, da segurança e da sustentabilidade.

A capacidade transformadora das tecnologias facilitadoras vai desde a automatização de processos, o apoio à

decisão, a segurança e a manutenção preditiva até à otimização de rotas e ao rastreio de contentores no que diz respeito ao transporte marítimo.

Em seguida, destacamos os casos de utilização em que a aplicação destas tecnologias facilitadoras está a ter um impacto significativo.

Utilização de IA para **prever falhas em sistemas críticos** a bordo, resultando em menos tempo de inatividade e numa redução dos custos associados. Na mesma linha, a utilização de *Big Data* permite **desenvolver modelos de manutenção preditiva e evitar paragens não programadas**, com base nos dados históricos das máquinas envolvidas no processo. Além disso, a utilização de IoT permite uma **monitorização contínua**, contribuindo para a deteção de anomalias, entre outros.

A utilização da IA em **técnicas de simulação e modelação** que permitem, entre outras coisas, simular o desempenho de projetos propostos em várias condições operacionais e ambientais; ou a aplicação da IA para a análise de dados históricos para identificar padrões e tendências para orientar o futuro desenho de navios são apenas alguns exemplos de como a IA pode contribuir para o desenho e construção de navios. Além disso, a utilização da IoT permite a **fabricação conectada**, disponibilizando a **informação total do processo em tempo real para cada etapa da cadeia**.

Aplicação da IA no **desenvolvimento de sistemas autónomos e robóticos** que executam várias tarefas na indústria. Aplicação da IoT no desenvolvimento de sistemas inteligentes, **permitindo que o sistema perceba o seu ambiente**.

A implementação de processos e medidas de cibersegurança adequados permite a **deteção e a resposta a ameaças**, assim como, em última análise, a **recuperação dos sistemas afectados**. Na mesma linha, sistemas baseados em IA que permitem a **deteção precoce de ameaças** através da análise de dados de radar, imagens de satélite e outros sensores.

A utilização da IoT para o *tracking* de *containers* permite a **localização dos mesmos em qualquer momento**, respondendo às limitações encontradas nos sistemas de GPS. Da mesma forma, a aplicação de IA para a análise de dados meteorológicos, tráfego marítimo, condições do mar e outros fatores com o objetivo de **otimizar as rotas** e o planeamento de viagens.

O *Big Data*, com a sua capacidade de organizar e analisar o volume atual de dados disponíveis, permite a **otimização de processos com base em dados históricos, oferece apoio à tomada de decisões com base em algoritmos automáticos**, entre outros. A utilização de tecnologias *Cloud*, com recurso a infraestruturas de armazenamento externo, permite **reduzir custos e aumentar a velocidade de trabalho**.



A aplicação destas tecnologias ao setor naval enfrenta dois desafios principais: a **adaptação a um ambiente altamente complexo e dinâmico** e a necessidade de **garantir a segurança e a privacidade** da informação.

**Casos de
estudo**

5

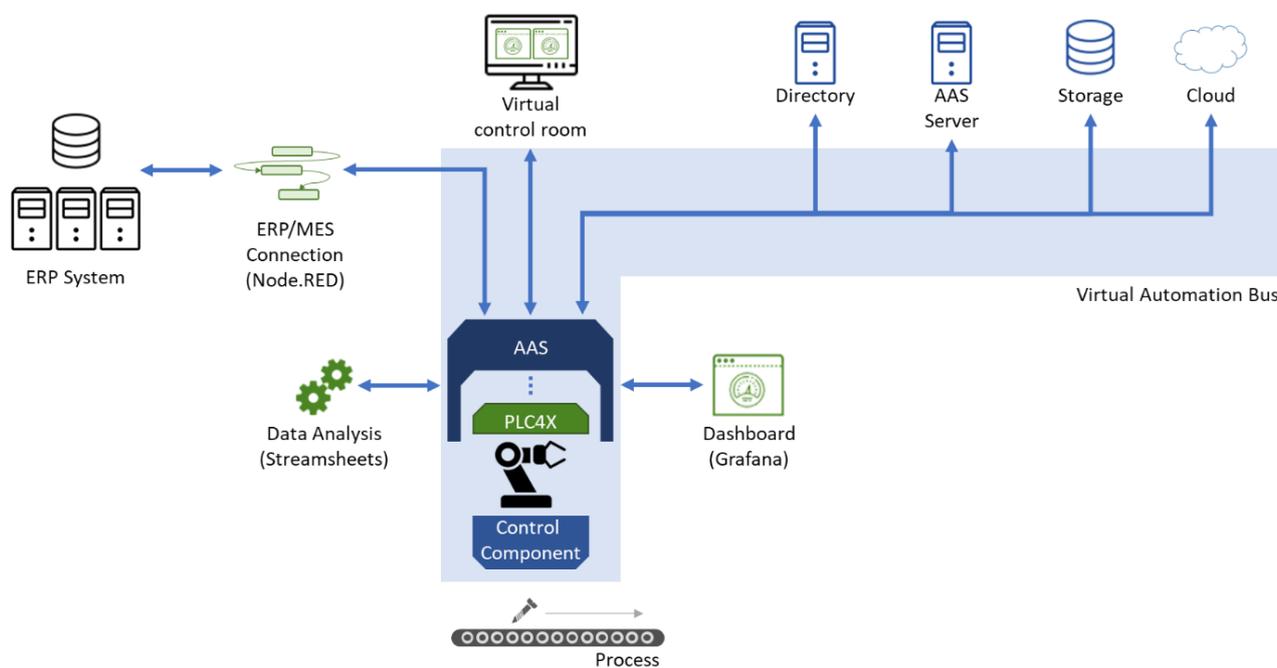
Lista de implementações comerciais ou de código aberto para gémeos digitais

Eclipse BaSyx

É uma implementação técnica de código aberto de vários conceitos-chave definidos pela *Platform Industrie 4.0*, como o *Asset Administration Shell*. Esta plataforma fornece componentes prontos para uso e kits de desenvolvimento de software (SDKs) extensíveis para Java, C++ e C#.

Em particular, a BaSyx implementa um *middleware* de código aberto para a Indústria 4.0 que permite a digitalização de ambientes de produção.

Integra processos, dispositivos, trabalhadores, produtos e todos os outros ativos relevantes num sistema digital unificado. Portanto, permite conectividade, análise holística de dados e uma melhor compreensão dos sistemas de produção através de abordagens disruptivas.

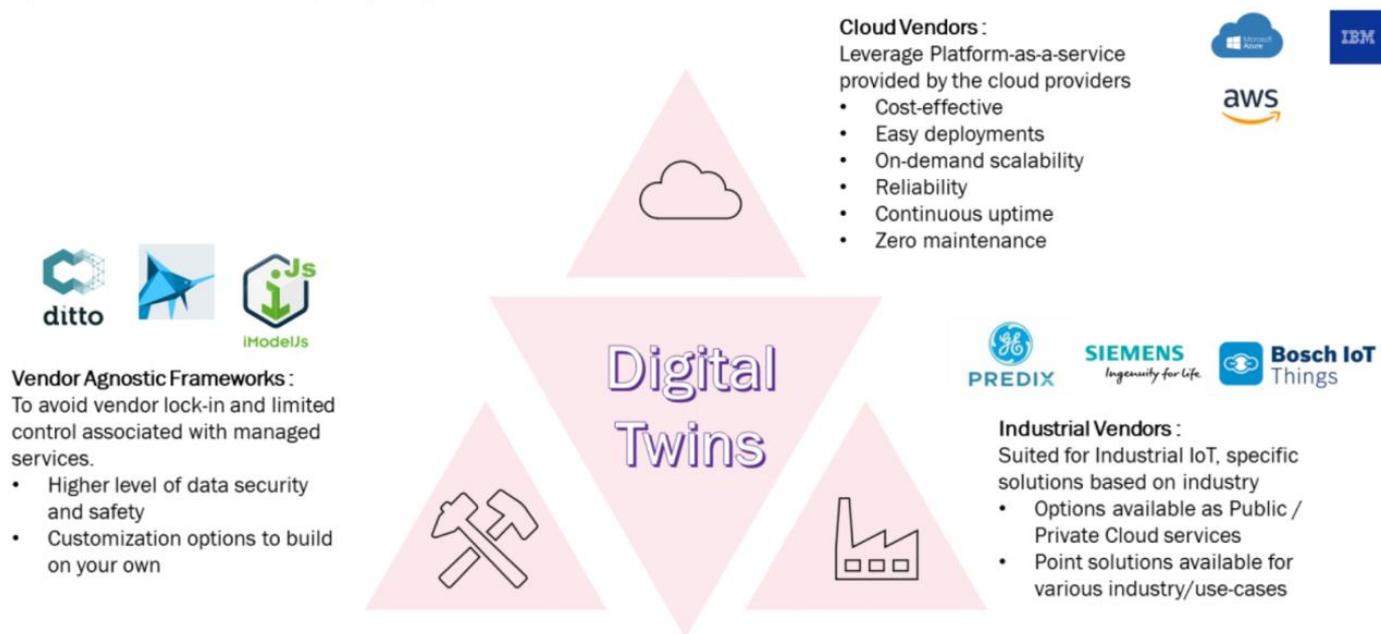


Arquitectura básica de Basyx

Lista de implementações comerciais ou de código aberto para gémeos digitais

SOLUÇÃO DE NEGÓCIO

Existem inúmeras soluções comerciais que visam a implementação de gémeos digitais na indústria. Cada fabricante oferece a sua própria estratégia e visão do que é um gémeo digital e os seus recursos habilitadores. Esta secção fornece uma amostra representativa da oferta do mercado, embora não exaustiva.



Opções para construir/implementar gémeos digitais

Ericsson

A Ericsson, com os seus produtos *Ericsson Industry Connect1*, oferece soluções de conectividade 4G LTE y 5G para indústria. O seu enfoque centra-se na segurança e facilidade de instalação, apostando em soluções *plug & play* geridas a partir de uma plataforma *cloud*.

Na mesma linha, estão comprometidos com a conectividade como facilitador do 4.0 com o 5G-SMART2, um projeto de investigação colaborativa. O objetivo é testar aplicações avançadas de fabrico integradas com 5G, como a robótica industrial com controlo remoto, a supervisão de processos sem fios ou a robótica móvel. Os testes são realizados incorporando implementações de 5G em configurações reais de fabrico: numa fábrica da Ericsson em Kista, Suécia, na sala de máquinas do Instituto Fraunhofer de Tecnologia de Produção (IPT) em Aachen, Alemanha, e numa fábrica de semicondutores da Bosch em Reutlingen, Alemanha. O 5G-SMART realizou uma avaliação de Compatibilidade Eletromagnética (EMC), medições de canais e testes de coexistência entre redes industriais públicas e privadas.

Por outro lado, com o seu *IoT Accelerator* (plataforma IoT), a Ericsson oferece um ecossistema de parceiros para o desenvolvimento de soluções de IoT na indústria.

Lista de implementações comerciais ou de código aberto para gémeos digitais

Siemens

O seu software industrial concentra-se em ajudar os fabricantes a tornarem-se empresas digitais, permitindo-lhes digitalizar e integrar toda a sua cadeia de valor industrial por meio de soluções de PLM, soluções de gestão de operações de fabricação (MOM) e equipas TIA, todas apoiadas pelo *Teamcenter*, a plataforma de colaboração da Siemens e *backbone* de dados único.

Com a sua solução *Digital Enterprise*, a Siemens oferece um equilíbrio entre segurança e abertura. Para proteger todos os fluxos de dados contínuos e multidirecionais, incorpora um conceito de segurança multicamadas em cada etapa. Ao mesmo tempo, há um fluxo contínuo de dados entre as partes interessadas para uma colaboração perfeita.

O seu conceito de Gémeo Digital está focado na integração de todo o ciclo de vida do produto e, se necessário, até do ciclo de vida da fábrica. Os dados de desempenho gerados e capturados no mundo físico permitem um ciclo contínuo e aberto de otimização, tanto para o produto como para a produção. Esta abordagem de ponta a ponta do Gémeo Digital integra todos os componentes necessários, incluindo um Gémeo Digital do edifício, que pode ser usado para otimizar o desempenho e a eficiência da infraestrutura física e energética de uma unidade de produção.

Também de interesse é o PlantSight, uma solução de Gémeo Digital desenvolvida em conjunto para a indústria de processos pela Siemens e Bentley Systems. De acordo com a Siemens, o PlantSight reúne uma riqueza de dados e informações, contextualiza-os, valida-os e permite a sua visualização. Este concentra-se em transformar dados brutos num gémeo digital completo, que é atualizado continuamente. Neste contexto, a Siemens define um gémeo digital completo como dados 1D, 2D e 3D recolhidos de muitas fontes diferentes, que fornecem dados consistentes, revelam o contexto de interesse, revelam "dados escuros" e geram *insights* robustos.

Vale a pena destacar o projeto de Aquicultura da empresa Pescanova, em Singapura. Este piloto ocorreu numa plataforma marítima de 3000 metros quadrados e as suas principais características, de acordo com a Siemens são:

- Instalação de sistemas automatizados e sensores.
- Uso do MindSphere para fornecer conectividade na nuvem, análise de dados e painéis ao vivo para simplificar as operações.
- Rastreabilidade confiável ao longo de toda a cadeia de valor usando *Blockchain*.
- Uso de visão mecânica com câmaras, para detetar anomalias na pele e comportamento de natação incomum para evitar surtos de doenças.
- Uso de algoritmos de análise de vídeo com *Machine Learning* para calcular a biomassa e o nível de fome para otimizar a alimentação.
- Infraestrutura de Cibersegurança.

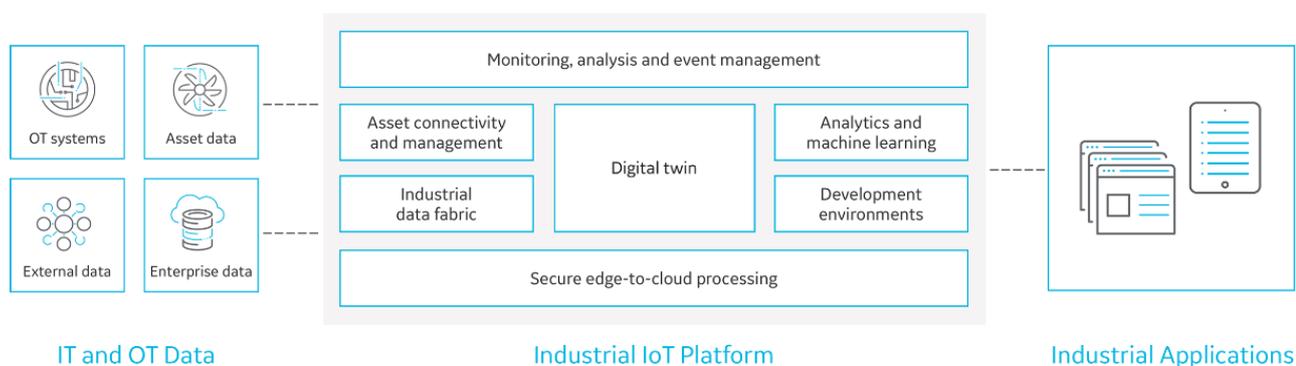
Lista de implementações comerciais ou de código aberto para gémeos digitais

General Electric

Está fortemente comprometida com a Indústria 4.0 e soluções de gémeos digitais, especialmente voltadas para o setor de energia.

Além disso, a GE é membro fundador do *Digital Twin Consortium*,

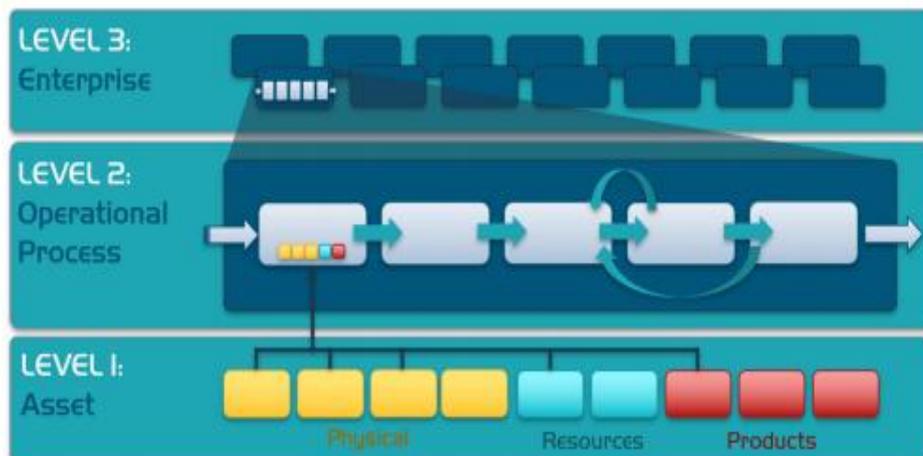
O seu produto GE Predix é uma plataforma que oferece recursos partilhados que as aplicações industriais exigem: conectividade de ativos, tecnologias de ponta, análise e *Machine Learning*, processamento de *Big Data* e gémeos digitais centrados em ativos.



Arquitetura do Predix. Fonte: General Electric

A General Electric define Gémeo Digital como uma representação de software de um ativo físico, sistema ou processo projetado para detetar, prevenir, prever e otimizar por meio de análises em tempo real.

Na GE Digital, o foco é o modo como os Gémeos Digitais podem ajudar em três áreas principais: ativos, redes e processos. O seu software *Digital Twin* aplica *Machine Learning* e análise avançada para monitorização em tempo real de grandes quantidades de dados industriais: de sistemas HMI/SCADA, séries temporais, alarmes, eventos, bem como leituras de clima e temperatura ambiente. Atendendo a estas 3 áreas principais, definem 3 tipos de gémeos digitais, oferecendo soluções de negócios para cada um deles.



Lista de implementações comerciais ou de código aberto para gêmeos digitais

IBM

Para a IBM, um Gêmeo Digital é um modelo virtual projetado para refletir com precisão um objeto físico.

A IBM distingue vários tipos de gêmeos digitais dependendo do nível de ampliação dos detalhes do produto. A maior diferença entre esses gêmeos é a área de aplicação, embora seja comum que diferentes tipos de gêmeos digitais coexistam dentro de um sistema ou processo. Os tipos que considerados são:

- **Component/Part Digital Twin.** Os gêmeos digitais de componentes são a unidade básica do gêmeo digital, o menor exemplo de um componente funcional. Os gêmeos parciais são praticamente a mesma coisa, mas pertencem a componentes menores.
- **Asset Digital Twin.** Quando dois ou mais componentes trabalham juntos, formam o que é conhecido como um ativo. Os gêmeos de ativos possibilitam estudar a interação desses componentes, criando uma riqueza de dados de desempenho que podem ser processados e, em seguida, transformados em *insights* acionáveis.
- **System/Unit Digital Twin.** O próximo nível de detalhe envolve sistemas ou unidades gêmeas, que permitem que você veja como diferentes ativos se unem para formar um sistema funcional completo. Os gêmeos do sistema fornecem visibilidade da interação com os ativos e podem sugerir melhorias de desempenho.
- **Process Digital Twin.** Os gêmeos de processo, a um nível macro de detalhes, revelam como os sistemas interagem para criar uma instalação de produção completa. Todos estes sistemas estão sincronizados para operar com a máxima eficiência, visto que os atrasos num sistema afetarão outros. Os gêmeos de processo podem ajudar a determinar os cronogramas precisos que, em última análise, influenciam a eficiência geral.

De entre as soluções oferecidas pela IBM, destaca-se a solução *Service Lifecycle Management*, criada pela IBM e Siemens. O seu foco é estabelecer um fio digital de ponta a ponta entre os fabricantes de equipamentos e os proprietários/operadores desses equipamentos,

Outro produto de interesse, é o IBM *Digital Twin Exchange*, um mercado para gêmeos digitais de ativos de vários tipos. Destina-se aos fabricantes e permite adicionar um gêmeo digital do seu produto, para que as empresas possam usá-lo facilmente.

Microsoft

A Microsoft dispõe do produto *Azure Digital Twins*, uma plataforma como serviço (PaaS) que permite criar gráficos de conhecimento com base em modelos digitais de ambientes inteiros. Estes ambientes podem ser edifícios, fábricas, plataformas, redes de energia, ferrovias, estádios, ou cidades inteiras.

Funciona, por exemplo, com a Nvidia suportando gêmeos digitais no seu metaverso Omniverse.

Lista de implementações comerciais ou de código aberto para gêmeos digitais

Lanner

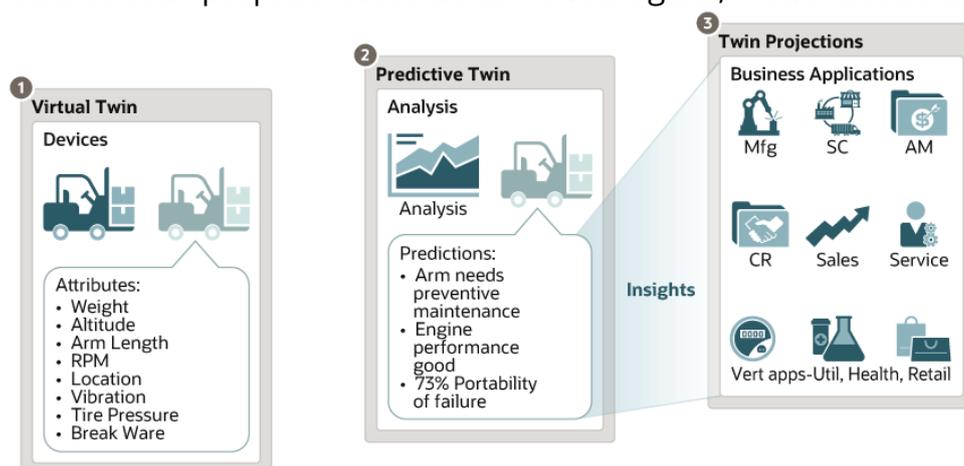
A Lanner é uma empresa americana formada a partir da AT&T e dedicada à simulação preditiva e tecnologia de otimização. Os seus produtos WITNESS e WITNESS.io, focados em simulação e modelagem de processos, concentram-se num tipo de gêmeo digital designado de Gêmeo Digital Preditivo.

De acordo com a Lanner, um Gêmeo Digital Preditivo oferece oportunidades que vão para além do uso de informações de estado atual para impulsionar o processo operacional e o desempenho dos ativos. Este é criado usando software de simulação preditiva especialmente projetado e pode ser usado para avaliar planos ou possíveis cenários futuros. Isso permite que os tomadores de decisão testem e entendam o impacto de cada cenário, identificando oportunidades e riscos, sem nenhum custo. Os gêmeos digitais preditivos funcionam modelando eventos individuais usando um mecanismo baseado no tempo, considerando recursos, restrições e interação com outros eventos. Estes refletem as regras de processo e a variabilidade que afetam o comportamento de sistemas da vida real e ambientes operacionais complexos. A Lanner propõe o apoio à tomada de decisão automatizada como o objetivo final de um gêmeo digital, embora reconheça que este ainda não foi alcançado.

O software de simulação WITNESS *Horizon* da Lanner fornece recursos de otimização, juntamente com a funcionalidade de experimentação de cenários. Isto permite que um gêmeo digital preditivo procure a resposta ideal, sobre como equilibrar os gastos e os recursos necessários para alcançar um resultado específico. Em vez de análise preditiva, isto é conhecido como análise prescritiva.

Oracle

Para a Oracle, um gêmeo digital é uma representação digital de um dispositivo, ativo ou sistema físico. A Oracle apresenta o conceito de gêmeo digital IoT de forma abrangente, baseada em três pilares, cada um com os seus próprios casos de uso e vantagens, como mostra a imagem abaixo.



Gêmeos Digitais Oracle. Fonte: Oracle

Lista de implementações comerciais ou de código aberto para gémeos digitais

Gémeo virtual: num gémeo virtual, o recurso de virtualização de dispositivo da Oracle cria uma representação virtual de um dispositivo físico ou ativo de nuvem.

Gémeo preditivo: num gémeo preditivo, a implementação do gémeo digital cria um modelo analítico ou estatístico para previsão usando uma técnica de aprendizagem automático.

Twin Projections: nas chamadas projeções gémeas, previsões e *insights* são integrados com aplicações de negócios *back-end*, tornando a IoT parte integrante dos processos de negócios. Para projeções de conhecimento, o Oracle IoT *Cloud Service* integra-se com vários produtos, como Oracle ERP e Oracle CX possibilitando integrações nativas predefinidas, e pode conectar-se a mais de 150 aplicações através do uso do Oracle *Integration Cloud Service* (ICS), ou do uso de APIs REST.

A Oracle oferece um gémeo digital de simulação para IoT, que permite criar dispositivos simulados para um ambiente sem a necessidade de conectar e configurar hardware, e permite gerar dados ao vivo, alertas e eventos configuráveis para esses dispositivos simulados. Além disso, permite a criação de modelos de simulação e, em seguida, usá-los para instanciar dispositivos simulados e fornecer modelos de simulação prontos para uso, que podem ser usados para criar dispositivos simulados.

Dassault Systemes

Dentro do seu portfólio de soluções para a indústria inclui um focado em gémeos virtuais, o 3DEXPERIENCE Twin, que enfatiza a modelagem 3D de ativos, sem constituir uma solução específica para gémeos digitais, mas sim uma adaptação de seu conjunto de soluções para o conceito de gémeos <https://www.3ds.com/3dexperience/cloud/digital-transformation/digital-twin-software>



Modelo gémeo digital para Dassault. Fonte: Dassault

Lista de soluções comerciais ou de código aberto para gêmeos digitais

Bentley Systems

Tal como a General Electric, a Bentley é também membro fundador do *Digital Twin Consortium*. O produto estrela que oferecem no âmbito dos gêmeos digitais é o iTwins, uma solução baseada no projeto Open Source iModel.js, que se foca principalmente na construção. Trata-se de um gêmeo digital de ativos, que fornece *insights* sobre o desempenho da infraestrutura usando técnicas de análise inteligente, como IA e ML.

Destaca o seu compromisso com a abertura e a interoperabilidade como um fator essencial para o desenvolvimento de gêmeos digitais. Para a Bentley, uma plataforma aberta é aquela que suporta uma ampla variedade de formatos de dados, incluindo formatos proprietários, e deve ser neutra em termos de suporte a formatos. A plataforma deve ser capaz de extrair dados num formato nativo e disponibilizá-los em um formato aberto padrão que possa ser consultado e integrado. Para facilitar esta abordagem, a Bentley Systems suporta uma ampla gama de ferramentas de design e partilha de arquivos de terceiros.

Também vale a pena destacar a colaboração no âmbito da indústria de processos, com a Siemens e outras entidades, que culminou na ferramenta PlantSight.

Bosch

Embora não esteja exatamente focada na Indústria 4.0, a solução *Bosch IoT Things (Consumer IoT)* permite que as aplicações efetuem a gestão de gêmeos digitais de ativos de dispositivos IoT de forma simples, conveniente, robusta e segura.

Sob a abordagem de gêmeo digital, as aplicações podem armazenar e atualizar os seus dados de ativos, propriedades e relações, e receber notificações de todas as alterações relevantes.

Como parte da *Open Manufacturing Platform (OMP)*, as soluções de Indústria 4.0 propostas pela Bosch, como o *Nexeed Industrial Application System*, seguem as recomendações alemãs apresentadas nas secções anteriores deste documento. Outras publicações incluem aquelas relacionadas à homogeneização de dados na Indústria 4.0.

A Bosch dispõe do *Digital Twin System*, que aborda as necessidades de todos os envolvidos através da homogeneização *end-to-end* de dados semânticos e transmissão de dados de fabrico, juntamente com informação contextual.

O *Digital Twin System* da *Bosch Connected Industry* estabelece a base para uma digitalização completa da produção e logística, criando gradualmente homogeneidade e interoperabilidade de dados consistentes. Cada ativo tem uma representação digital com semântica e informações contextuais consistentes: os modelos semânticos subjacentes (modelos de aspecto), os próprios gêmeos digitais, bem como partes deles (aspectos, pacotes de informações agrupados por categoria) são independentes uns dos outros e podem ser usados e encontrados por um utilizador específico.

Lista de implementações comerciais ou de código aberto para gémeos digitais

SAP

Não proporcionam uma solução específica e construída com este propósito, mas evoluíram o seu ecossistema de soluções para atender às necessidades da Indústria 4.0 e do gémeo digital.

O seu produto atual é o SAP *Business Technology Platform*, que reúne muitas soluções de IoT, Edge ou AI32 (SAP *Intelligent Robotic Process Automation*, SAP *Conversational AI*, AI *Business Services*).

Entre as aplicações e ferramentas SAP mais relevantes relacionadas com o gémeo digital estão o SAP *Predictive Asset Insights*, projetado para manter os ativos a funcionar, prevenindo, simulando e otimizando o seu estado com *Machine Learning* e tecnologia de gémeos digitais e SAP *Data Intelligence*, uma solução completa de gestão de dados que conecta, descobre, enriquece e organiza ativos de dados separados em *insights* de negócios acionáveis em escala empresarial.

Além disso, oferecem uma infraestrutura aberta e focada em IA para facilitar a criação e a implementação de aplicações de IA em escala usando a SAP *Business Technology Platform*, com serviços de negócios prontos para uso, orquestração de dados alimentada por IA e *pipeline* numa estrutura de código aberto.

Hitachi

A Lumada IIoT abrange a tecnologia, serviços e soluções digitais avançadas oferecidas pela Hitachi para transformar dados em *insights*. O software Lumada fornece uma plataforma IIoT para inovação digital e modelagem de gémeos digitais: integração, modelagem e análise de dados de TI/OT.

<https://www.hitachivantara.com/en-us/products/iiot-software-solutions/lumada-software-for-iiot.html>

Davra

Define o Gémeo Digital como uma representação eletrónica de uma coisa ou conceito físico.

Ao contrário das empresas referidas anteriormente, a Davra é uma pequena empresa, focada apenas na Internet Industrial das Coisas (IIoT). A sua plataforma Davra IoT foi reconhecida pelo Gartner como líder em plataformas privadas IIoT no seu Quadrante Mágico para Plataforma IoT Industrial em 2019.

A Davra fornece uma ampla gama de serviços, desde gestão de dispositivos IoT, recolha e armazenamento de dados, imposição de regras contra dados, modelagem de entidades, para citar apenas alguns.

A análise na *Edge* e *Cloud* inclui análise de *streaming*, *Machine Learning*, NLP (*Natural Language Processing*) e algoritmos de IA. A visualização avançada é possível através de *dashboards*, mapas SIG e elevada configurabilidade. Além disso, a plataforma oferece uma vasta seleção de comunicações e protocolos OT, como Modbus, Profinet ou Canbus e integração com redes LoRa, Sigfox ou NB-IOT.

Lista de implementações comerciais ou de código aberto para gémeos digitais

Marel

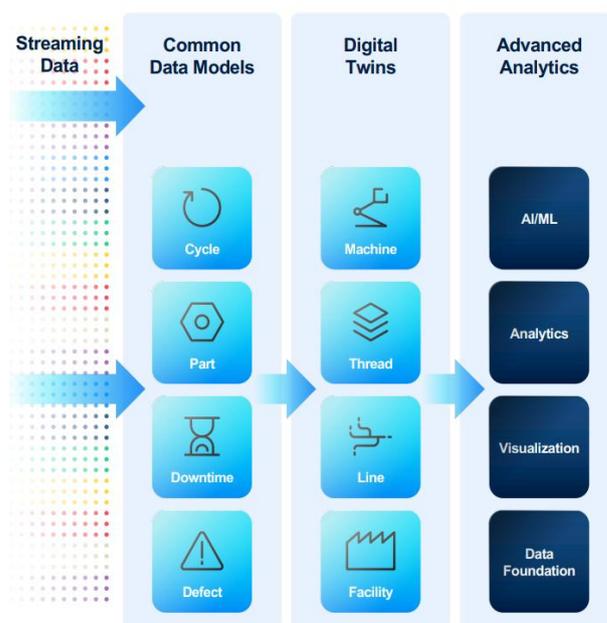
Empresa de máquinas para automação de processos de processamento de pescado. Está comprometida com a digitalização e oferece o software Innova MES, que inclui opções de rastreabilidade, qualidade e otimização de processos. Não se referem explicitamente ao gémeo digital, mas a natureza da sua solução pode fornecer uma boa base para a captura de informações.

CodeIT

Empresa dedicada a soluções de rastreabilidade e integração de dados focadas no setor alimentar. O uso de *blockchain* se destaca, embora eles não ofereçam muitas informações sobre suas capacidades. A sua relevância centra-se numa história de sucesso de processamento de salmão na Noruega, na qual são aplicadas noções de *Smart Factory*.

Sight Machine

A plataforma de *streaming* da *Sight Machine* é um produto inovador para a fabricação orientada a dados. Construído especificamente há mais de uma década para transformar dados não estruturados de instalações num banco de dados padronizado, permite analisar continuamente todos os ativos, fontes de dados e processos, desde a máquina até ao nível corporativo.



Esta solução é baseada em 3 pilares: o *Factory TX*, que conecta e unifica com segurança todas as fontes de dados relacionadas à produção; o *Factory Transform*, que transforma todos os dados da fábrica numa única fonte de informações acionáveis, eliminando a necessidade de disputa tediosa de dados; e o *Sight Machine Analyze*, que orienta as operações com a tomada de decisões contínuas e em tempo real.

Lista de implementações comerciais ou de código aberto para gémeos digitais

ScaleOut

O *ScaleOut Digital Twin Streaming Service* é um serviço de nuvem que rastreia simultaneamente a telemetria de milhões de fontes de dados com gémeos digitais "em tempo real" baseados em software, permitindo introspeção imediata e profunda, e *feedback* em tempo real altamente direcionado.

Este serviço de *streaming* agrega valor exclusivo para aplicações que precisam de monitorizar de forma inteligente um grande número de fontes de dados, rastrear e analisar as principais mudanças de estado para cada fonte de dados e identificar rapidamente oportunidades e ameaças emergentes usando análises agregadas em tempo real.

As aplicações típicas incluem IoT, rastreamento de frotas e ativos, recuperação de desastres, segurança, rastreamento de dispositivos de saúde, serviços financeiros e comércio eletrónico.

DataProphet

Empresa focada em soluções de IA para a Indústria. A conectividade IIoT possibilita as suas soluções de análise PRESCRIBE e DETECT.

Para a DataProphet, é essencial estabelecer a base certa para alcançar os benefícios da otimização de fábrica habilitada para a Inteligência Artificial (IA). Isto envolve digitalizar dados existentes, automatizar a recolha de dados e implementar um mecanismo de armazenamento apropriado.

A DataProphet elaborou um artigo intitulado *Maturity Self-Assessment for Industry 4.0*, no qual descreve os passos iniciais para preparar uma fábrica para a otimização recorrendo a IA.





**Gêmeo Digital
no
Setor Naval**

6

Nos últimos anos, a indústria naval tem passado por uma significativa transformação impulsionada pela tecnologia digital. Com o avanço da digitalização, novas oportunidades e desafios têm surgido, moldando o panorama do setor naval de maneira profunda e impactante. Especificamente, os gêmeos digitais representam um marco significativo na evolução da indústria naval. Esta tecnologia inovadora permite a criação de réplicas virtuais de embarcações e sistemas, oferecendo uma série de benefícios que vão desde o design e construção até a operação e manutenção. Neste capítulo, será realizada uma análise sobre a inserção dos gêmeos digitais no setor naval, explorando as suas aplicações, os avanços alcançados e o modo como essas inovações têm influenciado a indústria.

Gêmeos Digitais no Setor Naval

Os gêmeos digitais são representações virtuais em tempo real de embarcações ou sistemas navais, integrando dados de sensores e informações operacionais para simular o seu comportamento e desempenho. Esta tecnologia permite uma análise detalhada e precisa em diversas fases do ciclo de vida das embarcações, proporcionando *insights* valiosos para tomada de decisões e otimização de processos.

Na sequência dos preceitos da indústria 4.0, o gêmeo digital tem sido aplicado em diferentes domínios, nomeadamente veículos elétricos, saúde, redes, redes elétricas e navios.

No setor naval, os projetos focam o ciclo de vida completo do navio: design, fabricação e manutenção.

- **Design e engenharia** – permite simulações virtuais para avaliação de diferentes conceitos e configurações. Isto possibilita a identificação de potenciais problemas e a otimização do design antes mesmo da construção física da embarcação. Os engenheiros navais utilizam modelos virtuais para explorar diferentes configurações de casco, sistemas de propulsão e distribuição de cargas. Isto permite uma análise detalhada de cada componente e a identificação de possíveis melhorias no desempenho, eficiência e segurança da embarcação. Os gêmeos digitais também facilitam a comunicação entre as equipas, fornecendo uma representação visual precisa do projeto em desenvolvimento.
- **Fabricação e construção** – permite monitorizar o progresso e a qualidade da produção em tempo real. Além disso, os gêmeos digitais podem ser utilizados para realizar simulações de montagem e testes virtuais, garantindo a integridade e eficiência do processo. Os dados de sensores instalados nas instalações de fabricação são integrados com o modelo virtual da embarcação, permitindo a visualização em tempo real do processo de montagem. Isto possibilita a identificação precoce de desvios em relação ao projeto original, garantindo que a embarcação seja construída conforme as especificações.
- **Operações e manutenção** – permite a monitorização contínua do desempenho da embarcação, prevendo potenciais falhas e otimizando a manutenção. Também são úteis para formação de tripulações e simulação de cenários de emergência. Sensores instalados a bordo recolhem dados operacionais, como temperatura, pressão, vibração e consumo de combustível, que são então integrados no modelo virtual da embarcação. Isto permite uma análise contínua do estado de saúde dos sistemas e componentes, identificando potenciais falhas e necessidades de manutenção preventiva.

Impacto

A implementação de gêmeos digitais no setor naval tem impactado de forma significativa diversas áreas, incluindo:

- Redução de custos. A capacidade de realizar simulações virtuais permite identificar e corrigir problemas precocemente, reduzindo custos e aumentando a eficiência operacional.
- Melhoria da segurança. Os gêmeos digitais permitem preparar as tripulações para ambientes virtuais seguros, reduzindo os riscos associados a operações reais e emergências.
- Otimização de desempenho. A análise contínua do comportamento da embarcação permite otimizar o desempenho operacional, maximizando a eficiência e a vida útil dos sistemas.

Desafios e Considerações

Apesar dos benefícios evidentes, a implementação de gêmeos digitais no setor naval também apresenta desafios, como a integração de sistemas e a garantia da qualidade dos dados utilizados. Além disso, questões relacionadas com cibersegurança e privacidade devem ser cuidadosamente consideradas.



CASOS DE APLICAÇÃO

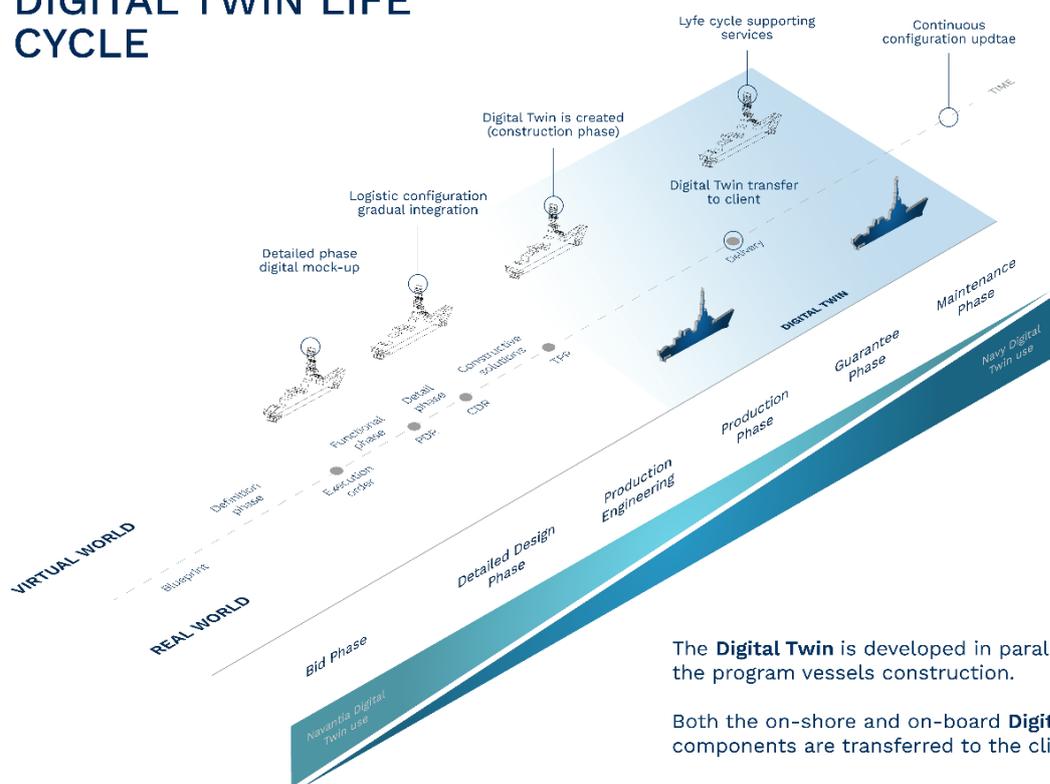
A **Navantia** incorporou a tecnologia de gêmeos digitais como parte integrante da sua iniciativa Estaleiro 4.0. Com esta tecnologia, a Navantia pode visualizar o status e a condição do produto real não só no estaleiro e em todas as suas etapas de fabricação, mas também quando o navio está a flutuar, a milhares de quilómetros de distância. Isto é especialmente valioso no contexto globalizado e altamente conectado de hoje.

O ambiente virtual do produto é definido através do uso de tecnologias como *Cloud Computing*, *Machine Learning* e Internet das Coisas. Este analisa os dados recolhidos ao longo de todo o ciclo de vida, desde a fase de projeto até à manutenção. As simulações geradas permitem identificar ações corretivas e recomendar ações preventivas.

Deve-se notar na abordagem da Navantia que, uma vez entregue o produto, o ambiente virtual é transferido para o cliente. O cliente pode então tirar partido da simulação de cenários operacionais, aplicar inteligência artificial (do combate ao diagnóstico de falhas) e obter poupanças otimizando a manutenção dos equipamentos.

Em resumo, os gêmeos digitais propostos pela Navantia não só otimizam o projeto e a operação dos sistemas, mas também antecipam processos de verificação e validação, fornecem manutenção preditiva, apoiam a tomada de decisões e permitem o planeamento da produção com base na situação em tempo real, e não apenas em dados históricos.

DIGITAL TWIN LIFE CYCLE



The **Digital Twin** is developed in parallel to the program vessels construction.

Both the on-shore and on-board **Digital Twin** components are transferred to the client.

Conceito de gêmeo digital da Navantia Fonte: Navantia

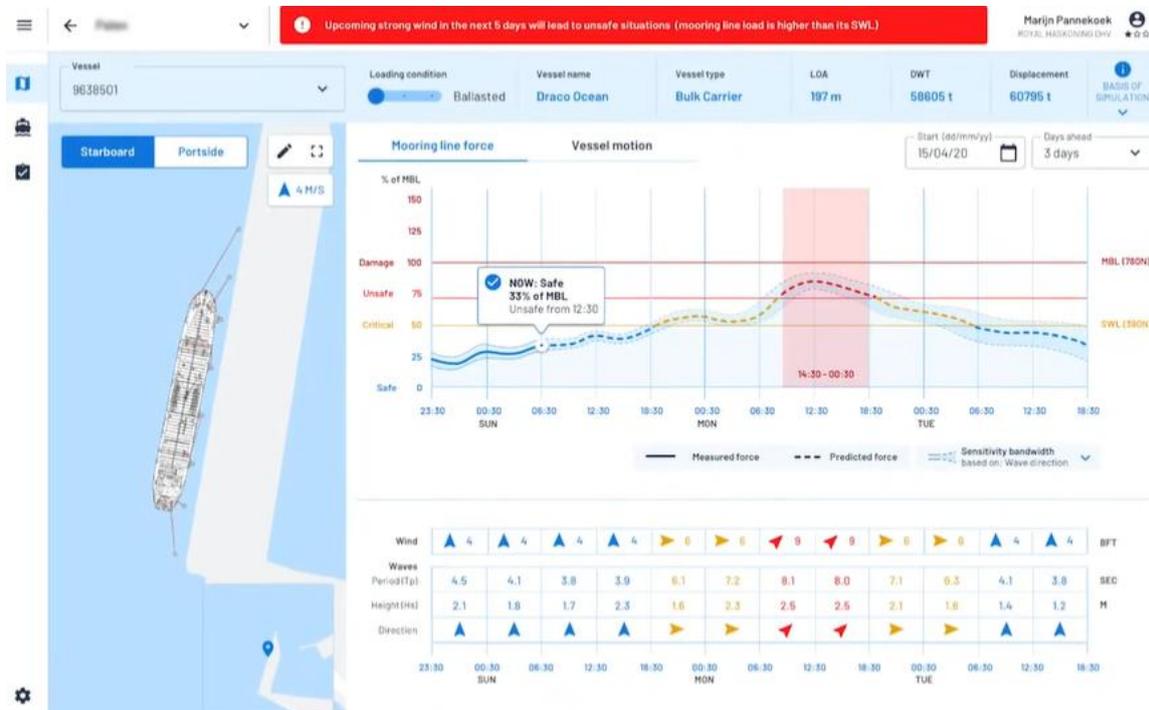
No **Porto de Roterdão**, nos Países Baixos, foi implementada uma solução da Royal HaskoningDHV que combina a tecnologia de gêmeos digitais com operações de amarração inteligentes.

O *Smart Mooring* é uma aplicação de software que avisa ativamente o Comandante do Porto ou o operador portuário sobre situações inseguras de navios atracados. Este usa um gêmeo digital para prever forças de amarração e movimentos de barcos com vários dias de antecedência. Esta combinação de cálculos hidrodinâmicos e previsões meteorológicas (vento e ondas) permite decisões operacionais mais informadas.

O principal objetivo do *Smart Mooring* é mitigar o risco de navios se soltarem, o que é especialmente crucial para navios maiores, em condições de tempestade mais fortes e com infraestrutura envelhecida. Além disso, esta solução melhora a segurança e a eficiência das operações portuárias, antecipando as condições de amarração.

O Porto de Roterdão está a levar esta inovação ainda mais longe, desenvolvendo um gêmeo digital completo do porto. Este gêmeo inclui toda a infraestrutura, movimentos de navios, condições climáticas e informações hidrográficas. A ambição é permitir a navegação autónoma dentro do porto até 2030.

Em suma, a combinação de gêmeos digitais e soluções de amarração inteligentes está a transformar a forma como os portos gerem a segurança e a eficiência das operações marítimas.



Aplicação de amarração inteligente da Royal HaskoningDHV. Fonte: Royal HaskoningDHV

A FCx30, uma corveta proposta pela **Fincantieri** para o programa de corveta da Marinha Helénica, está atualmente em negociações para construção na Itália e na Grécia. No caso específico da FCx30, a Fincantieri emprega uma abordagem de fabricação modular, que envolve o uso de um gêmeo digital. Este gêmeo digital permite que engenheiros e projetistas simulem e prevejam o comportamento da corveta sob várias condições antes de sua construção física. Para isso, são recolhidos dados em tempo real utilizando sensores e tecnologias relacionadas com *Big Data*. Uma vez recolhidas, essas informações são processadas usando Inteligência Artificial, *Cloud Computing* e *Machine Learning*.

O gêmeo digital do FCx30 não só permite que a Fincantieri teste novas ideias e descubra problemas antes que eles ocorram, mas também interage diretamente com humanos. Permite analisar situações, propor soluções otimizadas e implementá-las. Desta forma, a Fincantieri pode manter as suas instalações em bom funcionamento e antecipar quaisquer problemas na sua cadeia de abastecimento.



Modelo da fragata FCX30 de Fincantieri. Fonte: Breaking Defense

Os estaleiros públicos da **Marinha dos Estados Unidos da América**, encarregados de reparar submarinos e porta-aviões, estão em situação de obsolescência, muitos deles com até 100 anos. Como parte do SIOP (*Shipyard Infrastructure Optimization Program*), foi planejado um período de modernização de 20 anos com um orçamento de até US\$ 21 bilhões para atualizar os estaleiros Kittery, Pearl Harbor, Portsmouth e Puget Sound. Precisamente, dentro destas tarefas de modernização, está a ser considerado o uso de tecnologia de gêmeos digitais.

Um dos pontos críticos nestes estaleiros é a máxima otimização das operações de reparação, com grande importância do ponto de vista da defesa nacional. Para o efeito, propõe-se a utilização de tecnologias de modelação e simulação que procuram otimizar o fluxo dentro do próprio estaleiro, mas também considerando a indústria auxiliar. A Siemens foi chamada a fazer isso, com os modelos Pearl Harbor e Puget Sound, concluídos em 2020, e com os modelos Portsmouth e Kittery, concluídos no início de 2021. No caso de Pearl Harbor, por exemplo, simulações mostraram que alguns edifícios do estaleiro deveriam ser movidos para mais perto da costa para minimizar os movimentos de pessoal.

Por outro lado, o *Naval Air Systems Command* (NAC) da Marinha dos EUA também adotou a modelagem digital de gémeos para o seu Programa de Sistemas de Ataque Aéreo Eletrónico (PMA-234).

No final de 2022, o grupo coreano **Hyundai Heavy Industries** obteve a aprovação de princípio (AiP) da DNV para o seu sistema *Hyundai Intelligent Digital Twin Ship* (HiDTS) para 174.000 transportadores de GNL CBM. O sistema HiDTS permite a realização de testes do Sistema de Gestão de Energia (PMS) sem a necessidade de um inspetor estar fisicamente presente. Além disso, o gémeo digital suporta atividades de teste e recolha automática de dados sobre o comportamento do PMS, que o inspetor pode verificar usando uma aplicação remota.

O próximo objetivo da HHI e da DNV é trabalhar em conjunto no âmbito de um novo Memorando de Entendimento (MOU) para avaliar as potenciais aplicações de tecnologias de gémeos digitais autónomas em grandes embarcações marítimas comerciais.

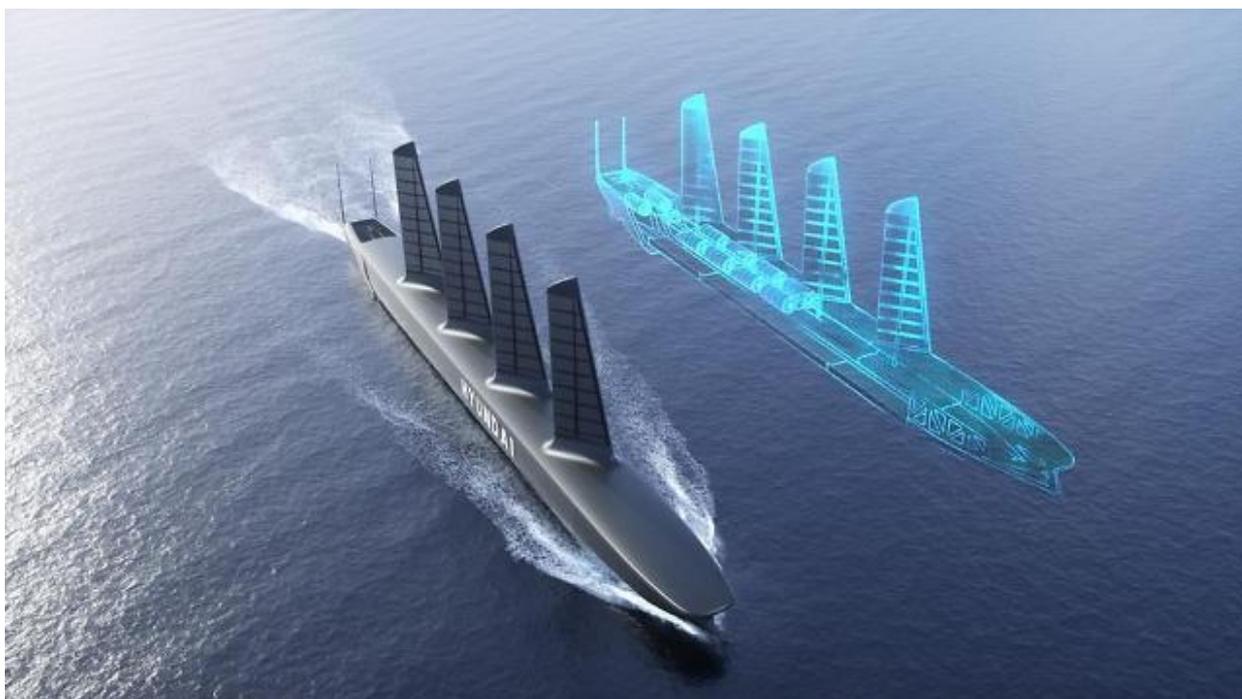


Imagem conceitual de uma embarcação Hyundai Heavy Industries e do seu gémeo digital. Fonte: Hyundai

Por outro lado, a **Hyundai** juntou-se recentemente às empresas de software finlandesas NAPA e CADMATIC para desenvolver soluções PLM (ciclo de vida do produto) para ajudar a implementar a visão digital do estaleiro da Hyundai. O objetivo final é aumentar a eficiência da construção naval, minimizando tempo, custos e aumentando a qualidade do trabalho

No âmbito da energia, os gêmeos digitais desempenham um papel crucial no sistema de gestão de energia GEMS da **Wärtsilä**. O GEMS, que faz parte do conjunto de soluções de armazenamento e otimização de energia da Wärtsilä, é uma plataforma que monitoriza, controla e otimiza os recursos energéticos a nível local e de portfólio. Este usa técnicas de *Machine Learning* e análise de dados em tempo real para determinar que tipo de geração é mais adequado num determinado momento, se é renovável, armazenamento de energia ou geração térmica.

Para validar estes algoritmos complexos, são efetuados testes utilizando um gêmeo digital do sistema de energia do cliente. O gêmeo digital pode simular totalmente o comportamento de baterias, energias renováveis e motores num ambiente virtual, garantindo que o hardware e os algoritmos funcionem em perfeita harmonia muito antes de serem implementados nos clientes.

Kognitwin é uma solução baseada em nuvem desenvolvida pela **Kongsberg Digital** que permite que as organizações planeiem, efetuem a gestão, colaborem e executem fluxos de trabalho de ponta a ponta por meio de uma única interface. O conceito de gêmeo digital é central para a Kognitwin, criando uma réplica virtual de ativos como instalações ou embarcações. Por meio dessa replicação, as operações podem ser monitorizadas, as configurações calibradas e as alterações aplicadas para melhorar a segurança, a eficiência e a sustentabilidade.

Algumas empresas que atualmente utilizam soluções de superfície de trabalho industrial são a **Maersk Training** ou o **Grupo Soechi**.

Kognitwin® - Your Industrial Work Surface
Kognitwin places the user at the center, regardless of discipline or function, enabling an intuitive and efficient data-driven experience that drives value across a broad range of business benefits

One Global Environment...
An integrated space for all of your assets to drive insights, plan activities, monitor performance, optimize your facility, and ensure safe operations

- Maintenance & Turnaround Planning
- Subject Matter Experts
- Remote Operations
- Asset Diversity

...fully Contextualized IT & OT Data...
Interoperable platform that can ingest and contextualized any data

- ↳ 3D Models, Laser Scans, 360 images
- ↳ Real-time & Historic Data
- ↳ Engineering Documents
- ↳ Maintenance & Inspection Data
- ↳ Permitting
- ↳ Process Models

Rich Data Driven Visualizations ...
Move seamlessly between 2D/3D models that bring together data from multiple sources enabling new capabilities

- Live P&ID
- Simultaneous Operations
- Risk Visualizations
- Isolation Planning

...powered by advanced analytics and simulation
20 years of industry leading simulation and modelling experience powering the dynamic digital twin

- Proactive Technical Monitoring
- 'What-if' scenario planning
- Predictive Failure Analysis
- Control Loop Monitoring
- Virtual Measurements

Resumo da solução Kognitwin. Fonte: Kongsberg

Naval Architect é um software de gestão de projetos de construção naval. É a primeira plataforma de nuvem do setor projetada para automatizar processos de projeto, engenharia e produção. O seu objetivo é garantir que os projetos sejam entregues de forma consistente, dentro do prazo e do orçamento.

Esta ferramenta conecta as partes interessadas através de uma plataforma baseada em navegador, permitindo-lhes colaborar numa representação digital completa de um navio. Do projeto à fabricação e posterior operação, o *Naval Architect* busca uma digitalização abrangente da indústria naval. Esta abordagem é designada de *Ship Information Modeling* (SIM).

O SIM é uma base de dados que contém toda a informação relevante sobre um barco. Mantém-se atualizado durante toda a vida útil da embarcação e torna-se a fonte essencial de dados. Ao simplificar o processo de design e oferecer uma abordagem digital e colaborativa, o *Naval Architect* visa reduzir significativamente os riscos gerais em projetos de construção naval.



Captura de ecrã da aplicação *Naval Architect*. Fonte: *Naval Architect*

PROJETOS EUROPEUS RELEVANTES

O projeto **Digital Twins for Green Shipping** (DT4GS)¹ é uma iniciativa ambiciosa em curso que procura transformar o setor do transporte marítimo através da digitalização e da sustentabilidade. O DT4GS proporcionará um sistema de apoio à decisão para a descarbonização em toda a indústria, beneficiando estaleiros, fabricantes de equipamentos, autoridades e operadores portuários, comissões fluviais, sociedades de classificação, empresas de energia e empresas de infraestruturas de transportes. Este projeto permitirá que os interessados no transporte marítimo tirem o máximo partido das inovações nos gémeos digitais para promover um transporte marítimo mais ecológico e eficiente, tanto na modernização dos navios existentes como na construção de novos navios.



Parceiros do projeto DT4GS. Fonte: DT4GS

Tem como objetivo apoiar as empresas de navegação a alcançar uma redução de até 20% nas emissões de CO₂ até 2026, desenvolvendo e implementando gémeos digitais configuráveis em tempo real para a otimização do desempenho operacional de navios e frotas em 4 *Living Labs* envolvendo diferentes tipos de navios. Além disso, procura estabelecer uma metodologia abrangente para navegação com emissões zero e sistemas de apoio para ensaios virtuais que abordem novas construções, remodelações e a interface porto-navio.

O avanço científico do DT4GS reside em ir além do atual estado da arte em otimização operacional de navios, projeto e teste de navios, implementação de tecnologia e abordagem unissetorial, bem como superar abordagens fragmentadas. Os resultados do projeto contribuirão para acelerar os objetivos de transformação para um transporte marítimo mais ecológico a curto, médio e longo prazo.

O projeto **AUTOSHIP** visa impulsionar o progresso para uma nova era de embarcações autónomas dentro da União Europeia, contando com a vasta experiência e *know-how* tecnológico acumulado pelas principais empresas marítimas do continente.

O objetivo do AUTOSHIP é a construção e gestão de dois tipos distintos de embarcações autónomas, testando a sua funcionalidade em ambientes de navegação marítima de curto alcance e canais fluviais. O foco é a mobilidade de carga. Estes navios de nova geração prometem otimizar a relação custo-benefício para operadores e frotistas, aumentando a sua competitividade e oferecendo uma alternativa mais eficiente ao transporte terrestre.

O AUTOSHIP baseia-se em tecnologias essenciais que permitem a autonomia operacional até ao nível 5. As inovações resultantes visam elevar o padrão atual em termos de perceção ambiental, sistemas anticolisão, navegação remota e autónoma, comunicações de dados integradas entre embarcações e terra, cibersegurança, monitorização de condições e estratégias de manutenção proativa, bem como tecnologias para interação com prestadores de serviços terrestres e autoridades portuárias.

No AUTOSHIP, um gémeo digital seria o equivalente virtual de um navio autónomo, equipado com vários sensores que recolhem informações críticas para o seu funcionamento. Estes dados, uma vez recolhidos, seriam processados e aplicados ao modelo virtual para realizar simulações, avaliar o desempenho e propor melhorias.



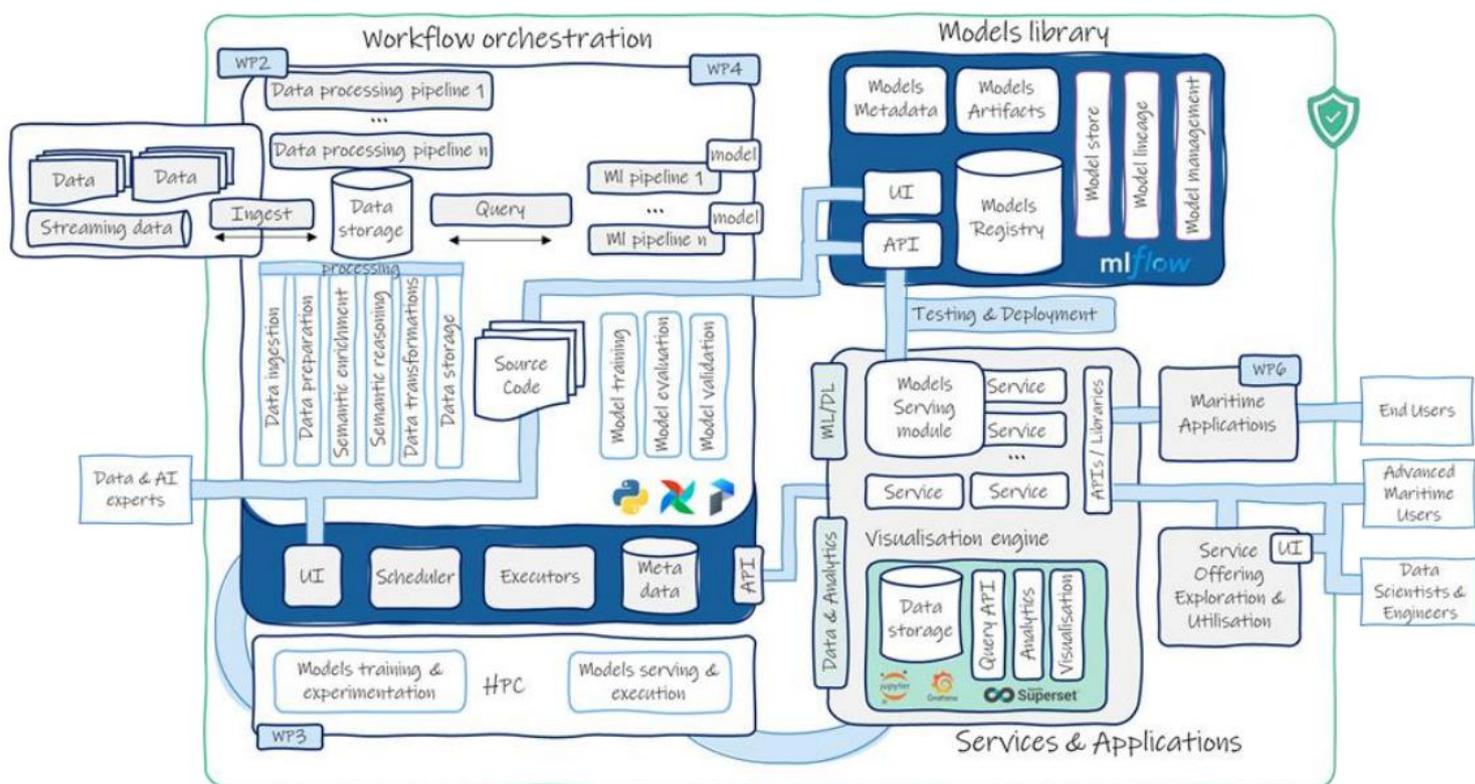
Ambiente digital no projeto AUTOSHIP. Fonte: AUTOSHIP

O Projeto **VESSELAI** é uma iniciativa que visa desenvolver um quadro abrangente e avançado, alimentado por Inteligência Artificial (IA). Este *framework* é utilizado para a criação de gêmeos digitais e modelos de apoio à decisão, análise de dados e visualizações para simular e prever o comportamento e manobrabilidade de embarcações, incluindo o fator humano. Além disso, é aplicado para otimizar o projeto de energia de navios e para desenvolver aplicações de navegação autônoma e inteligência de frota.

O VESSELAI está focado na criação de uma plataforma aberta e confiável capaz de analisar dados distribuídos. Isto permite o apoio à decisão em terra e serviços marítimos de próxima geração. Para alcançar este objetivo, o VESSELAI desenvolve os componentes de software e hardware necessários para permitir a ingestão, curadoria e consulta eficientes de conjuntos de dados em grande escala de diferentes fontes.

Além disso, o VESSELAI fornece um conjunto de modelos de *Machine Learning* (ML) e *Deep Learning* (DL) de alta qualidade e interpretáveis. Estes modelos são treinados usando grandes conjuntos de dados para classificações, análises e previsões avançadas relacionadas com as características marítimas.

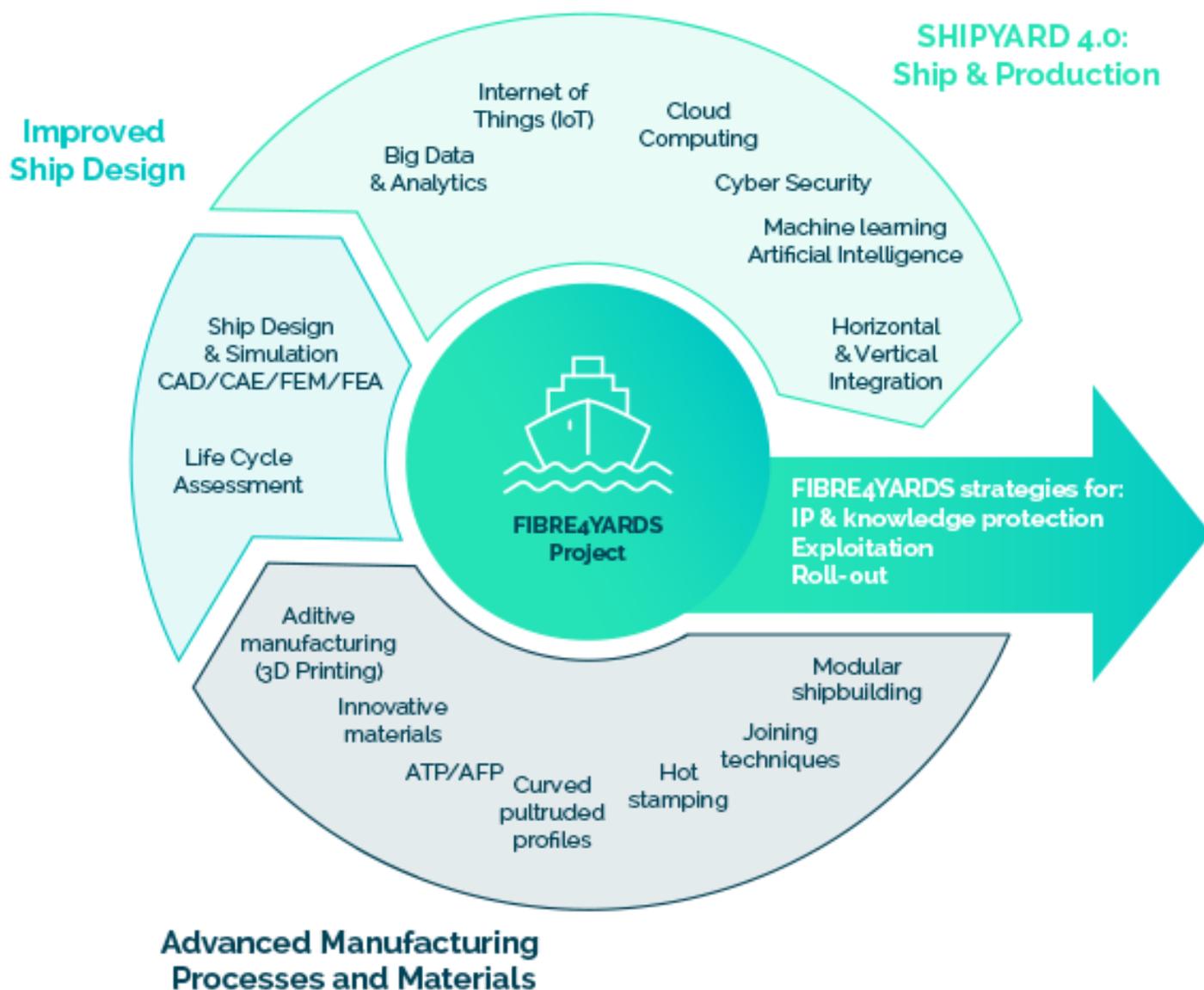
Alguns dos cenários-piloto do projeto incluem a modelagem de navios para monitorização e gestão de tráfego marítimo, o projeto otimizado de sistemas de energia em navios e o desenvolvimento de serviços autônomos de despacho e inteligência de frota.



Arquitetura geral do VESSELAI. Fonte: VESSELAI

O projeto **FIBRE4YARDS** visa reforçar a liderança europeia nos setores da construção e manutenção de embarcações de fibra. Através da implementação do conceito de Estaleiro 4.0, são introduzidas tecnologias avançadas e inovadoras relacionadas com o fabrico de navios com materiais compósitos. O projeto procura redefinir a indústria marítima através de tecnologias compósitas de próxima geração.

Além disso, foi desenvolvido um gêmeo digital do estaleiro que é utilizado para interagir com aplicações específicas e foram implementadas medidas de cibersegurança para proteger o sistema.



Esboço geral do projeto FIBRE4YARDS. Fonte: FIBRE4YARDS

Gémeo Digital no Setor Naval

Implementações bem-sucedidas

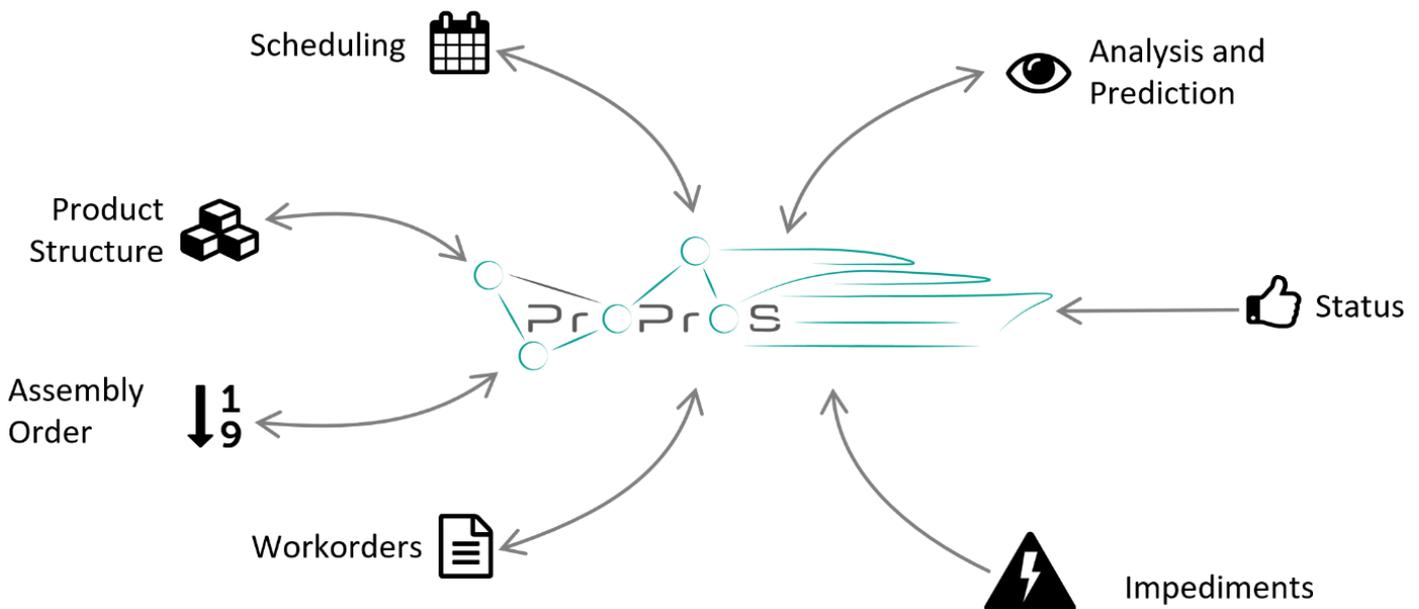
6

No contexto do projeto **ProProS**, PROSTEP, um especialista em PLM, colaborou com o grupo de estaleiros Lürssen e o Laboratório de Máquinas-Ferramenta (WZL) da RWTH Aachen University para desenvolver uma nova metodologia de planeamento baseada num gémeo digital. O objetivo deste esforço é prestar um melhor apoio aos estaleiros navais. O projeto, que foi financiado na Alemanha pelo Ministério Federal de Assuntos Económicos e Ação Climática (BMWK), foi concluído com sucesso no final de maio de 2023.

No âmbito do projeto, os três parceiros desenvolveram uma metodologia para planear e controlar a produção de grandes produtos individuais. Esta metodologia permite uma utilização eficiente dos recursos e facilita a avaliação precoce do impacto das interrupções. É baseada num gémeo digital que modela o navio e as atividades de produção. Neste gémeo digital, o plano de atividades é gerado automaticamente a partir da estrutura do navio e é planeado e otimizado tendo em conta os recursos disponíveis.

O software de demonstração criado durante o projeto de investigação pode gerir as grandes estruturas e planos de negócio encontrados na indústria de construção naval através do PLM.

A transferência de dados da produção em tempo real permite que os planeadores detetem interrupções ao longo do tempo e reajustem o processo de produção com base na situação atual. Isto fornece uma ferramenta que aumenta a eficiência do processo de produção e reduz os tempos de produção. O software de gémeos digitais é usado até mesmo para fazer previsões sobre atividades futuras. A solução permite um controlo detalhado e altamente eficaz da produção ao fabricar produtos individuais complexos, sem aumentar o nível de esforço manual necessário para o planeamento da produção.



Aspetos considerados dentro do projeto ProPros. Fonte: Prostep

Outros projetos de implementação de Gêmeo Digital no setor naval:

Projeto	Objetivo
Woolley & Whitehouse (2022)	Framework de modelação e simulação para avaliar a capacidade de sobrevivência de plataformas navais em ambientes de risco.
Yang <i>et al.</i> (2022)	Modelos 3D de cenários oceânicos, embarcações oceânicas em movimento, navios costeiros e aeronaves de reconhecimento marítimo. Além disso, o modelo inclui um método de renderização de neblina para simular o impacto da neblina no mundo real. Estes modelos dão suporte ao desembaçamento de imagens marítimas com base numa grande rede codificadora-descodificadora de kernel com pirâmides múltiplas.
Sado <i>et al.</i> (2023)	Digital Twin eletrotérmico para prever e observar o perfil térmico de cabos de potência para sistemas de energia de bordo naval. Tem como objetivo manter a temperatura do cabo abaixo da sua classificação térmica na qual ocorrem efeitos deletérios.
Choi <i>et al.</i> (2023)	Digital Twin usando sistemas dinâmicos para a operação e manutenção dos navios da Marinha ROK (Coreia do Sul).
Leonard-Albert <i>et al.</i> (2021)	Digital Twin para sistemas de energia naval.
Mouzakitis <i>et al.</i> (2022)	O projeto VesselAI, financiado pela União Europeia, planeia desenvolver uma estrutura que facilite a modelação e a previsão do comportamento dos navios utilizando Digital Twins. VesselAI pode fundir e assimilar eficientemente grandes quantidades de dados, provenientes tanto de observações quanto de simulações, para modelação, estimativa e otimização precisas do design e operação de navios e frotas sob várias condições dinâmicas em tempo quase real.
Cronin <i>et al.</i> (2023)	Digital Twin para controlo do fluxo de energia e potência no contexto naval.
Sado <i>et al.</i> (2023)	Digital Twin hierárquico de um sistema de energia naval permitindo uma maior eficiência computacional e escalabilidade, reconfiguração autónoma dos controladores de hardware e maior flexibilidade e capacidade de resposta.

Proyecto	Objetivo
Booth et al. (2023)	Gêmeo Digital para sistema de energia e potência naval para realizar um pré-alinhamento de sistemas ou componentes com base na posição ou orientação física.
Ross et al. (2022)	Gêmeo Digital desenvolvido na Devonport para redução de custos, eficiência de tempo e neutralidade de carbono. É usado para simular operações para auxiliar na gestão de riscos, planeamento de manutenção e otimização.
Siddaiah et al. (2023)	Gêmeo Digital para sistemas de energia e potência naval.
Hasan et al. (2023)	Gêmeo Digital preditivo com três componentes: (i) descreve o comportamento dinâmico dos navios; (ii) atualiza continuamente os modelos usando dados de sistemas de sensores; e (iii) prevê as falhas.
Shang et al. (2024)	Gêmeo Digital para o controlo da soldadura em grandes navios de cruzeiro.
Antonopoulos et al. (2023)	Gêmeo Digital para a otimização do desempenho de navios, considerando a descarbonização como objetivo final.
Wei et al. (2023)	Gêmeo Digital para gestão de rotas de navios em tempo real considerando a conformidade regulatória com a descarbonização.
Spandonidis et al. (2023)	O projeto DIGITSENSE pretende desenvolver um Gêmeo Digital modelando os sistemas de energia dos navios.
Riordan et al. (2023)	O projeto Robotic Vessels as-a-Service utilizou Gêmeo Digitais hidrográficos para a deteção de perigos de encalhe e colisão de navios.

Os projetos atuais no setor naval têm uma variedade de objetivos, que podem incluir:

- **Otimização do design e desempenho** envolvendo a simulação de diferentes configurações de casco, sistemas de propulsão e distribuição de carga para identificar as opções mais eficientes em termos de consumo de combustível, velocidade e estabilidade.
- **Manutenção preditiva** que permite a detecção precoce de falhas reduzindo o risco de paragens não programadas e aumentando a disponibilidade operacional.
- **Simulação de cenários** para treinar tripulações em procedimentos de emergência e simular cenários operacionais complexos. Isto pode ajudar a melhorar a preparação da tripulação para lidar com situações de crise e aumentar a segurança das operações navais.
- **Redução de custos e impacto ambiental** identificando oportunidades de economizar combustível, otimizar rotas marítimas e reduzir as emissões de poluentes.
- **Melhoria da eficiência operacional** envolvendo a automação de processos, a otimização do uso de recursos e a implementação de práticas de gestão mais eficazes.

Em resumo, os projetos no setor naval têm uma variedade de objetivos, todos voltados para melhorar a eficiência, segurança e sustentabilidade das operações navais. Estes objetivos refletem as necessidades e prioridades específicas das empresas e organizações envolvidas na indústria naval.



Implementar gêmeos digitais no setor naval requer uma cuidadosa planificação e execução. Tomando por base os projetos analisados anteriormente, algumas boas práticas para a implementação bem-sucedida desta tecnologia passam por:

- **Definir objetivos claros:** antes de iniciar qualquer projeto, é crucial definir claramente os objetivos a serem alcançados. Estes objetivos devem estar alinhados com as necessidades específicas do negócio, como melhorar a eficiência operacional, otimizar a manutenção do navio ou aumentar a segurança.
- **Utilizar tecnologia adequada:** existem várias tecnologias e plataformas disponíveis para a implementação de gêmeos digitais. É importante avaliar cuidadosamente as opções disponíveis e selecionar a que melhor se adapta às necessidades e requisitos do projeto.
- **Integrar dados de forma eficaz:** os gêmeos digitais requerem a integração de dados de múltiplas fontes, incluindo dados operacionais em tempo real, dados históricos, dados de sensores e dados de sistemas existentes. É crucial contar com um plano sólido para integrar e processar esses dados de forma eficaz.
- **Garantir a qualidade dos dados:** a precisão e confiabilidade dos dados são fundamentais. Devem ser estabelecidos processos para garantir a qualidade dos dados, incluindo limpeza, validação e verificação.
- **Desenvolver modelos precisos:** Os gêmeos digitais dependem de modelos precisos e realistas que representem fielmente o navio, os seus componentes e sistemas. É importante investir tempo no desenvolvimento e validação desses modelos para garantir a sua precisão e utilidade.
- **Implementar protocolos de segurança:** A segurança dos dados é uma consideração crítica na implementação de gêmeos digitais. Devem ser implementados protocolos robustos de cibersegurança para proteger os dados e sistemas contra ameaças externas, e garantir o cumprimento das regulamentações de privacidade.
- **Formação:** A implementação de gêmeos digitais requer que os intervenientes estejam capacitados no uso e gestão da tecnologia. Devem ser fornecidos programas de formação e desenvolvimento profissional para garantir que os trabalhadores tenham os conhecimentos necessários para tirar o melhor partido da tecnologia.
- **Avaliar e melhorar continuamente:** A implementação de gêmeos digitais é um processo contínuo que requer avaliação e melhoria constantes. É importante monitorizar o desempenho da tecnologia e fazer ajustes regulares para garantir que o modelo continua atualizado relativamente aos objetivos e requisitos do negócio.



O *whitepaper* da IIC "A Compilation of Testbed Results: Towards Best Practices for Developing and Deploying IIoT Solutions" inclui algumas reflexões interessantes sobre o projeto e desenvolvimento de infraestruturas IIoT, perfeitamente aplicáveis a gêmeos digitais. Em seguida, apresenta-se um resumo destas medidas.

LIÇÕES SOBRE COMO INICIAR UM PROJETO DE DIGITAL TWIN

- **Posicionar um banco de testes** ou piloto para uma maior eficiência dos processos existentes é uma ideia amplamente aceite.
- **Tornar as operações visíveis.** O pessoal da fábrica é normalmente o primeiro a avaliar a validade de uma solução, a sua viabilidade prática e os seus reais benefícios.
- **Dar *status* de primeira classe aos requisitos não funcionais.** Para algumas soluções, é útil esclarecer requisitos não funcionais de interesse para a gestão de negócios, como minimizar interrupções. Estes requisitos devem ter o mesmo nível de visibilidade que os objetivos funcionais quando apresentados à gestão.
- **O valor esperado de um piloto pode mudar e tudo bem.** Os resultados esperados de um banco de ensaio devem ser definidos no início e, em seguida, reavaliados. Podem ocorrer benefícios ou valores adicionais diferentes dos inicialmente esperados.

LIÇÕES SOBRE PLANEAMENTO E GESTÃO DE PROJETOS

No início do projeto

- **Envolver diferentes partes interessadas:** vários pilotos demonstraram valor numa equipa diversificada de parceiros.
- **A clarificação dos requisitos** e das restrições é um resultado em si mesmo.
- **Escolha um objetivo de curto prazo,** mantendo os objetivos de longo prazo em mente.
- **Planear a longo prazo:** um projeto-piloto deve estar preparado para durar mais tempo do que o inicialmente necessário. Uma aprendizagem fundamental é o valor do desenvolvimento de uma arquitetura sustentável, robusta e flexível, onde as adaptações podem ser feitas e as novas tecnologias demonstradas tão facilmente quanto possível.

A importância de manter a perspectiva da organização em todos os momentos

- **Operar um piloto num ambiente de produção:** É aconselhável mover um piloto para um ambiente de produção o mais rápido possível, pois a interação frequente com os utilizadores finais em condições operacionais estimula significativamente a inovação e o *feedback*.
- **Não separe a tecnologia dos aspetos organizacionais:** Ao falar sobre a aplicação de uma solução, o aspeto disruptivo da implementação de Gémeos Digitais, os seus potenciais benefícios e as opções para implementar a tecnologia devem fazer parte da mesma conversa e considerados em conjunto.

Planeamento e definição de metas para marcos

- **A importância de marcos bem definidos:** A colaboração entre parceiros heterogéneos pode levar a despesas gerais significativas, a menos que um cronograma rigoroso do projeto seja respeitado. Para reduzir a quantidade de trabalho, é necessário um planeamento adequado na fase de preparação do piloto.
- **Foco no objetivo certo:** Como leva tempo para iniciar um projeto de cooperação, é aconselhável ser seletivo na escolha do desafio mais importante a ser abordado, com o máximo retorno sobre o investimento (ROI) e a satisfação de todos os parceiros.

Organização do piloto por fases

- **Reserve tempo para uma fase de pré-investigação:** um pré-piloto é útil para fornecer melhores oportunidades para um piloto, esclarecendo que tecnologias usar, como integrá-las e quais são as melhores direções para maximizar o ROI.
- **Planear iterações e mudanças de curso:** em condições reais de implementação, as soluções planeadas podem necessitar ser revistas a qualquer momento. Nestes casos, as restrições, recursos, métricas e abordagem de metas para definir objetivos intermediários, mencionados acima, ajudam todas as partes interessadas a estarem alinhadas na avaliação das soluções propostas.
- **Planeie a reutilização e a escalabilidade.**
- **Resultados levam tempo e esforço:** As recomendações recorrentes das equipas que aplicaram estas tecnologias foram:
 - a) é importante ser modesto no cronograma e deixar espaço para investigar opções e alternativas.
 - a) não subestimar os obstáculos à implementação.
 - a) os utilizadores finais devem entender que o seu problema é único ou, pelo menos, o seu contexto e combinação de requisitos são únicos como a sua solução será.

DESAFIOS COMUNS E COMO ENFRENTÁ-LOS

Hospedando o piloto no utilizador final

As abordagens bem-sucedidas para reduzir o risco de interrupção das atividades de produção incluem:

- Reconhecer a redução das interrupções de produção como um objetivo, juntamente com as metas de negócios e desempenho.
- Inclua a avaliação de interrupção no processo de teste e na avaliação da solução.
- Antes de tudo o que foi dito, escolha como alvo do piloto um problema específico e conhecido vivido pelo pessoal da instalação, para o qual seja possível identificar e articular claramente os possíveis benefícios e riscos ou desvantagens, com uma avaliação precoce destes últimos.

Lidando com restrições de implantação herdada

Desafios relacionados com a renovação de equipamentos: Extrair dados de uso de equipamentos existentes é muitas vezes um desafio. A adição de sensores é sempre restrita sob condições de zona industrial legadas devido a limites técnicos ou físicos, questões de custo, praticidade e complexidades operacionais. Geralmente, as equipas observaram que:

- Com alguma análise e criatividade, é possível reduzir a necessidade de adicionar mais sensores a máquinas mais antigas.
- Contextualização, digitalização e modelos adequados para processos físicos reduzem a necessidade de aumentar a quantidade de dados de monitorização de ativos.
- A experiência do pessoal ajudou a especificar o que monitorizar.

Desafios relacionados com a recolha de dados: Muitas vezes, a recolha de dados revelou-se um desafio. É necessária uma combinação de técnicas de aquisição de dados, como reprogramação de PLC, sensores dedicados, monitorização de sinal de rede e reconhecimento de imagem de vídeo.

Questões de integração e interoperabilidade: Um problema recorrente para a recolha de dados é a heterogeneidade dos ativos físicos a monitorizar. A diversidade de condições de implementação e equipamento significa que, em muitos casos, os requisitos funcionais não podem ser abordados por uma única tecnologia, dada a diversidade de protocolos utilizados no passado em ambientes industriais.

Desafios de segurança: Será necessário considerar as implicações de segurança da conexão de infraestruturas antigas que não tinham conectividade com uma rede.

Como lidar com a incompatibilidade de TI versus OT

Uma parceria colaborativa, em oposição ao modelo típico fornecedor-cliente, faz mais esforço para abordar as diferenças culturais entre TI e OT. Esta divisão também se estende às opções tecnológicas.

Como o lado OT geralmente possui a maioria dos requisitos, uma estreita colaboração entre OT e equipas de TI ajuda a esclarecer quais são as necessidades reais para integração de TI/OT.

A modelagem analítica leva tempo

Muitas vezes não é fácil defender o desenvolvimento de um modelo de decisão analítica para a gestão da empresa: a qualidade das decisões baseia-se em dados que só podem ser recolhidos ao longo de um determinado período de tempo para obter resultados positivos.

Não se deve esperar que as análises sejam perfeitas desde o primeiro dia e o tempo necessário para recolher dados de qualidade suficientes não deve ser subestimado.

Dos resultados experimentais à implementação

As tecnologias comprovadas de gémeos digitais necessitam de ser dimensionadas quando o projeto entra numa fase operacional.

LIÇÕES APRENDIDAS SOBRE COMO IMPLEMENTAR E USAR TECNOLOGIAS ESPECÍFICAS

Plataformas de Serviços

- Estabeleça o valor de um gêmeo digital: no modelo de entrada no mercado do tipo plataforma, os custos podem ser distribuídos por várias aplicações e os utilizadores podem aproveitar o que foi desenvolvido antes para outros casos de uso semelhantes. Como é necessário investimento adicional, os pilotos que seguirem este tipo de modelo normalmente tiveram de justificar a visão de longo prazo.
- A importância dos casos de uso em gémeos digitais: Os casos de uso servem como requisitos de cenário de ponta a ponta para esclarecer o conjunto desejado de recursos subjacentes de uma plataforma e justificar a abordagem da plataforma *versus* o desenvolvimento de soluções pontuais.

Machine Learning e Inteligência Artificial

- Por que usar ML e IA e que método é o mais adequado?: A classificação é uma das principais aplicações da IA nos pilotos analisados no estudo citado no início da seção. Na fabricação, o controle de qualidade dos produtos é um exemplo comum.
- Mantenha a equipa de fábrica especializada no circuito: especialmente nas fases iniciais de uma implementação de ML, a equipa especializada desempenha um papel fundamental nos pilotos.
- Correlacione dados diversos com ciclos de vida diversos: Pilotos com modelos de IA que processam dados diversos de diversas fontes ainda são uma minoria. É menos complexo aplicar a IA a um conjunto de dados confinado, homogêneo e bastante independente com um âmbito limitado, numa função de classificador, por exemplo, como a avaliação da qualidade do produto.
- Qualidade de dados e desafios de aquisição de dados: A qualidade dos dados de entrada, seja para treinar um mecanismo de classificação ou alimentar um modelo analítico em tempo real, é uma preocupação recorrente. Em vários dos pilotos analisados, é um desafio adquirir os dados corretos, pré-processar e selecionar as variáveis necessárias para garantir a qualidade adequada.
- Obter informações acessíveis: Geralmente, os resultados ou saídas de algoritmos de ML são complexos e exigem muita experiência para serem interpretados e simplificados corretamente para o contexto de uso. É aqui que a experiência no campo operacional é preciosa.

Outros desafios ao implementar o ML: Esses outros problemas foram identificados:

- **Testes:** A equipa pode projetar os melhores algoritmos de ML, o melhor hardware de IoT e a melhor arquitetura, mas muitas mudanças acontecem quando se passa de um ambiente de laboratório para um ambiente industrial real. Se não for testado durante a produção real, haverá muitos falsos positivos com certeza.
- **Desafio de integração:** Num piloto, o mecanismo de ML deve estar conectado a ferramentas de terceiros, como limpeza de dados e ferramentas de visualização, para ser usado convenientemente. Era necessária experiência no uso desses sistemas e colaboração com especialistas em IA versados nessas ferramentas.
- **Ciclo de vida do modelo de ML:** O processo de atualização do modelo de ML e treino contínuo é um aspeto a ser considerado. No geral, as equipas observaram que implementar o ML e geri-lo é um processo, não uma solução chave na mão.
- **Governança e partilha de dados:** Outro desafio, ocorre quando se acede a dados de vários sistemas, sob a governança de vários especialistas ou departamentos com diferentes permissões de acesso. É importante ter extrema clareza sobre as políticas de partilha de dados e os perfis que podem ou não ser realizados e, em geral, implementar um procedimento de governança de dados.

LIÇÕES SOBRE O LADO HUMANO

O sucesso da implementação de um Gêmeo Digital depende em grande parte do fator humano. É muito importante gerir corretamente as expectativas. As pessoas podem ter preocupações sobre os riscos e receios sobre a relevância do seu próprio trabalho.

É uma parceria. Geralmente, nenhum parceiro neste tipo de agrupamentos ou empresas tem toda a experiência necessária para implementar uma solução de gêmeo digital. Os projetos de gêmeo digital normalmente envolvem uma ampla gama de tecnologias e *know-how* de diferentes indústrias.

Envolva o cliente desde cedo e dê-lhe um papel ativo. Como seria de esperar, para os intervenientes que implementam soluções de gêmeos digitais, é essencial envolver os clientes tanto quanto possível nas mudanças e mantê-los plenamente informados.

Resolva as preocupações com a interrupção. Geralmente, neste tipo de projetos há, em muitos casos, preocupações com a disrupção tecnológica e até mesmo, em alguns casos, com a substituição de postos de trabalho. Este é um aspeto relevante a abordar o mais rapidamente possível para eliminar possíveis inseguranças e contar com o total apoio do pessoal.

Envolva a gestão em breve. É importante que se registre o apoio da gestão às alterações que se pretende introduzir ou aos pilotos a realizar, pois dá maior segurança às pessoas envolvidas nas mesmas.

Cultive a confiança com os utilizadores finais

Os fatores que promovem a confiança, que foram mencionados pelas equipas que participaram neste tipo de pilotos, são os seguintes:

- Apoiar-se em padrões reconhecidos e melhores práticas, como as desenvolvidas na CII (fonte do estudo), pois isso ajudou a garantir essa confiança.
- Trabalhar com o pessoal da fábrica, não contra eles. O objetivo deve ser ajudá-los a fazer o seu trabalho melhor e mais rapidamente, não torná-los irrelevantes.
- Reconhecer e respeitar a experiência humana na área. A sua entrada deve ser valorizada para ajudar a restringir o conjunto de dados correto.
- Abraçar a educação e a formação em novas tecnologias. Em muitas ocasiões, para ganhar a confiança do pessoal, é essencial realizar formação em novas tecnologias e naquelas que serão implementadas posteriormente nas suas atividades profissionais diárias.

OUTRAS LIÇÕES APRENDIDAS

É um processo contínuo. Devido à sua natureza, um piloto de Gêmeo Digital nunca é realmente fechado. O seu principal objetivo é obter aceitação e validação suficientes para obter financiamento para o início de uma solução mais abrangente numa próxima fase. Não visa produzir uma solução chave na mão.

Reconhecer valor imprevisto. Um piloto do estudo pode originar um benefício inesperado para os clientes em áreas que não foram descritas na proposta do estudo.

Desenvolva uma solução confiável. A confiabilidade de um gêmeo digital é o grau em que o sistema funciona conforme esperado, mesmo diante de perturbações ambientais, perda esperada de qualidade e precisão de desempenho, erro humano, falhas do sistema e ataques.

Existem cinco propriedades frequentemente identificadas como constituintes da confiabilidade de um sistema: segurança, confiabilidade, resiliência e privacidade. Embora estas propriedades não sejam geralmente os objetivos principais dos pilotos, os especialistas sabem há muito tempo que devem ser levadas em conta no início do desenvolvimento de uma solução.

ERROS COMUNS E COMO EVITÁ-LOS

As equipas têm observações recorrentes que apontam para problemas que enfrentaram ou tiveram a sorte de evitar. Trata-se principalmente de deficiências nas relações com as partes interessadas e expectativas desalinhas.

Erro #1: Não passar tempo suficiente com o utilizador nos estágios iniciais

É tentador para os fornecedores de soluções projetar um protótipo de solução ao lado do cliente após uma rápida reunião dos requisitos do cliente. Em suma, fazer o que eles se sentem mais confortáveis: desenvolver e demonstrar, em vez de dedicar o que é percebido como tempo improdutivo, ouvindo e entendendo o utilizador final.

Como evitá-lo: entender os clientes e as suas expectativas é essencial para desenvolver uma solução que seja relevante a longo prazo. Além do principal problema ou objetivo do cliente, muitas vezes há um contexto tácito de restrições, objetivos secundários e uma provável evolução do negócio e dos seus requisitos.

Erro #2: Tratar o utilizador final como um cliente e não como um colega

Os clientes podem não ter uma ideia clara de onde ou como um Gêmeo Digital pode ajudar, mas têm conhecimento-chave das suas operações, uma compreensão funcional do que pode ou deve ser evitado e a experiência para julgar o valor de uma solução. Este conhecimento será ignorado se os utilizadores finais estiverem limitados ao papel passivo de um cliente.

Como evitá-lo: trata-se de construir uma solução em conjunto com o utilizador final (ou seja, o operador do plano, o gerente de negócios ou quem quer que se beneficie da solução). O cliente deve compreender que é um parceiro de uma equipa e parte integrante do seu sucesso ou insucesso.

Erro #3: Comprometer-se cedo demais com os objetivos ou benefícios do negócio

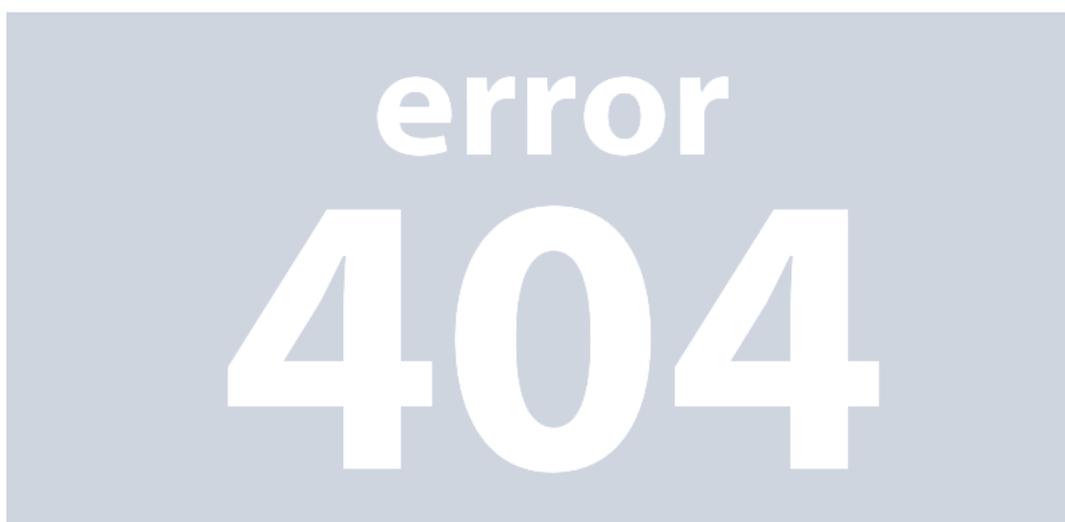
Comprometer-se demais com conhecimento insuficiente do contexto operacional gera o risco de decepcionar a todos no caso de uma falha, e transmite a percepção de que a tecnologia é imatura ou não é adequada para ambientes do mundo real.

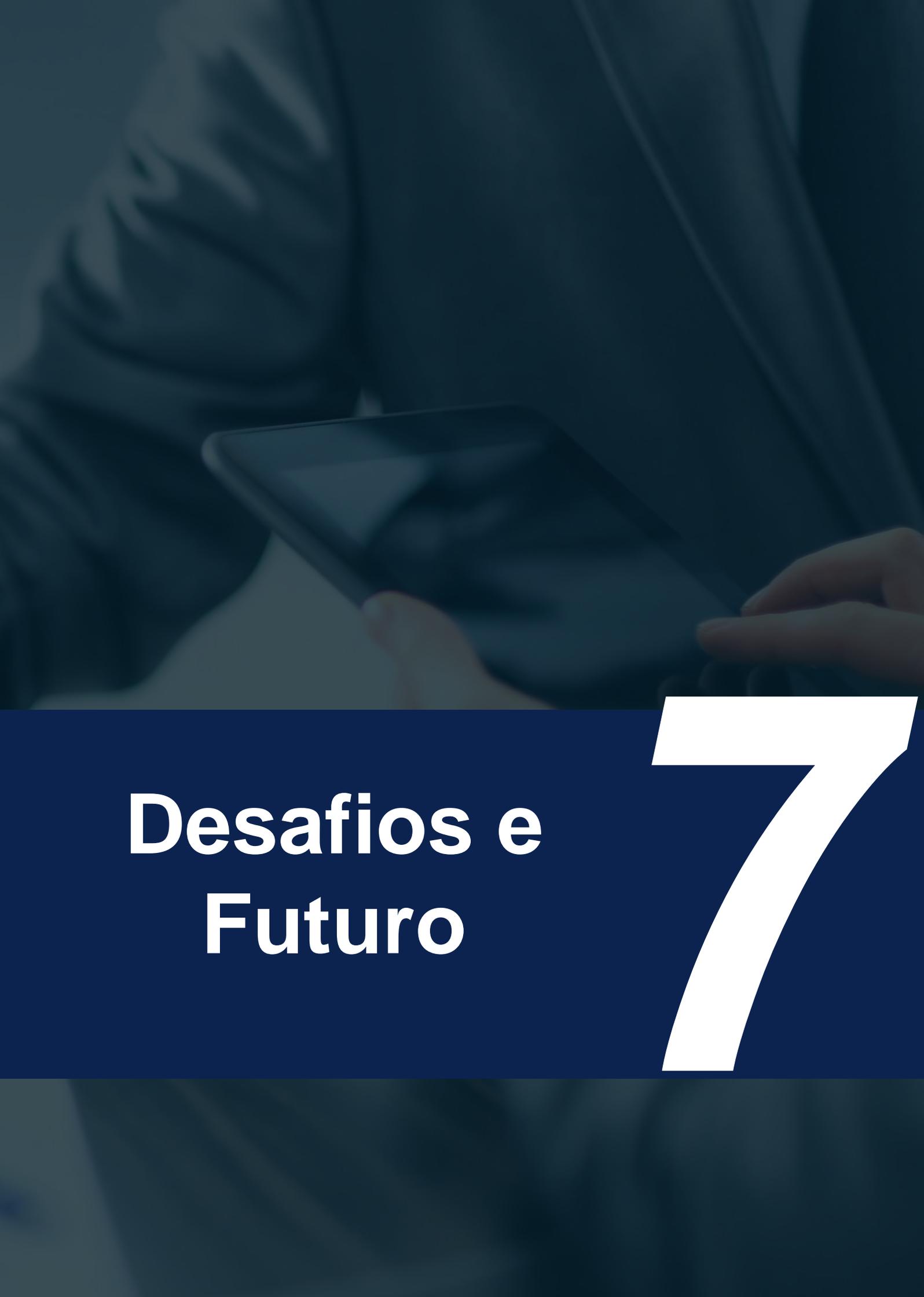
Como evitá-lo: adicionar uma fase pré-piloto para dar tempo para entender as condições de campo, esclarecer a melhor maneira de proceder e definir expectativas razoáveis. O pré-piloto definirá uma base sólida para um piloto e imunizará o piloto real de falhas e atrasos preliminares.

Erro #4: Manter os objetivos vagos e os critérios de sucesso vagos

Não definir critérios claros para avaliar o sucesso aumenta o risco de interpretar mal os objetivos e manter as expectativas das partes interessadas desalinhadas

Como evitá-lo: uma vez clarificada a abordagem para o desenvolvimento de uma solução, todas as partes devem definir e acordar critérios claros para o sucesso, fase a fase.





**Desafios e
Futuro**

7

Os desafios e o futuro

Desafios da implementação do Gémeo Digital

No panorama dinâmico do setor naval, o desenvolvimento e a implementação de Gémeos Digitais é uma ferramenta de grande interesse para otimizar as operações e melhorar a eficiência. No entanto, ao considerar um projeto para o desenvolvimento e posterior implementação desta tecnologia, é necessário analisar os principais desafios que podem ser encontrados neste caminho de transformação digital.

Os principais desafios a enfrentar são então identificados a quatro níveis:

- Tecnológico
- Operacional e de infraestruturas
- Estratégico e comercial
- Organizacional
- Regulamentar e normativo



As tendências futuras no desenvolvimento de Gémeos digitais são impulsionadas pelos avanços tecnológicos em curso, bem como pelas novas necessidades que surgem em todos os setores. Estes avanços contínuos estão a remodelar o panorama

dos Gémeos digitais, impulsionando a inovação contínua e transformando as operações no setor naval. Entre as tendências que deverão impulsionar o desenvolvimento e a adoção dos Gémeos digitais contam-se as seguintes:

Maior sofisticação dos modelos: utilização de modelos de simulação mais avançados graças à incorporação dos avanços das tecnologias emergentes, como a Inteligência Artificial e a aprendizagem automática, o que se traduzirá numa melhoria da precisão e da capacidade de previsão do Gémeo Digital.

Gémeos digitais para a gestão do ciclo de vida: A tendência é para que os Gémeos digitais sejam utilizados ao longo de todo o ciclo de vida de um produto, desde o desenho e construção até à operação e manutenção. Isto permitirá uma gestão mais eficiente dos ativos, uma otimização contínua do desempenho e uma maior durabilidade do produto.

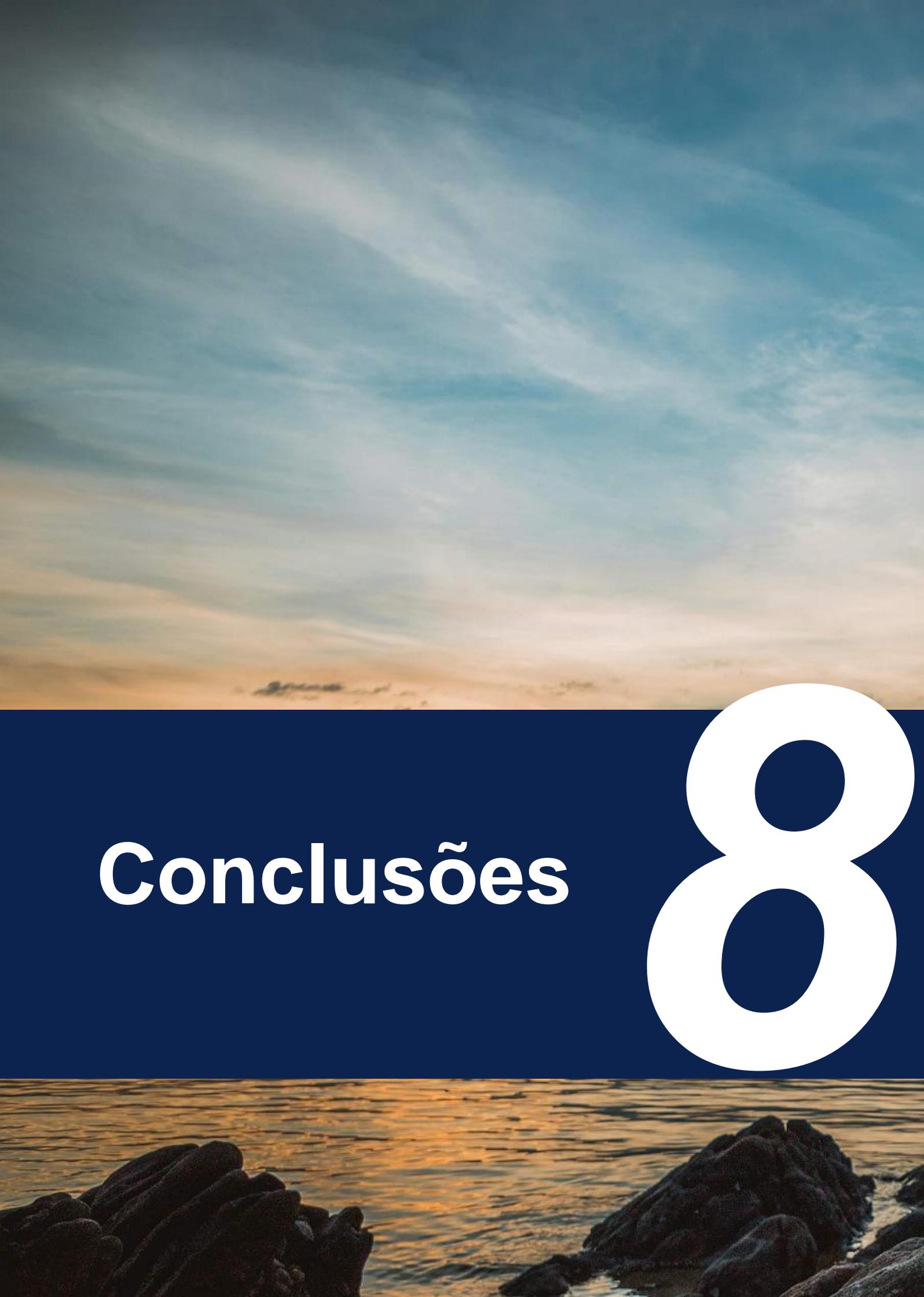
Gémeos digitais colaborativos e em rede: A tendência para uma maior colaboração entre os intervenientes está a impulsionar o desenvolvimento de Gémeos digitais colaborativos e em rede, que permitem a partilha de informações em tempo real, facilitando a coordenação das operações, a gestão da cadeia e a toma de decisões conjuntas.

Ênfase na cibersegurança: Espera-se que seja dada uma maior ênfase ao desenvolvimento de soluções de segurança sólidas e à implementação de práticas de gestão dos riscos cibernéticos para salvaguardar a integridade e a confidencialidade dos dados.

Gémeos multi-escala: espera-se uma evolução para Gémeos multi-escala que possam representar sistemas com diferentes níveis de detalhe, desde componentes individuais a sistemas completos, permitindo uma análise granular e, por conseguinte, uma tomada de decisões mais precisa a todos os níveis operacionais.

Integração de tecnologias imersivas e expansão do metaverso: a crescente integração da RA e da RV nos Gémeos Digitais permite uma experiência mais imersiva e realista, facilitando a visualização e a simulação de ambientes complexos. Do mesmo modo, a expansão do metaverso e a sua integração no Gémeo Digital resultará na criação de ambientes virtuais colaborativos onde os profissionais podem trabalhar em conjunto.





Conclusões

8

A análise do estado da arte revela como as tecnologias estudadas: *Big Data*, Inteligência Artificial, Internet das Coisas, *Cloud*, Realidade Virtual e Aumentada, assim como a cibersegurança revelam um panorama rico em possibilidades para a indústria e especificamente para o setor naval.

Estas tecnologias não oferecem somente ferramentas para a otimização de processos, a tomada de decisões e a melhoria da eficiência, como também representam uma mudança de paradigma na forma como estes setores são concebidos e operam. A sua importância reside na sua capacidade de potenciar a inovação, aumentar a capacidade dos meios industriais e a projeção tecnológica das empresas, ao mesmo tempo que protege de forma cada vez mais eficaz estes meios progressivamente mais digitalizados.

Conclui-se, portanto, que a adoção de todas estas tecnologias é um imperativo para quem pretende manter-se na vanguarda da indústria e da navegação num futuro próximo.

Não é de estranhar que, com esta tendência cada vez mais tecnológica, comecem a surgir cada vez mais projetos inovadores. Neste caso, para este estudo, foram analisados diferentes projetos em que a tecnologia do Gémeo Digital já está a ser utilizada como catalisador da inovação e do progresso digital e industrial. É de salientar que a maioria dos projetos estudados estão muito próximos da data de conclusão deste relatório (2021-2023), o que sublinha o elevado nível de inovação e vanguarda tecnológica que o Gémeo Digital implica na indústria. Com base na análise efetuada, podemos retirar as seguintes conclusões relativamente à atual aplicabilidade do Gémeo Digital no setor:



Objetivos

A melhoria da eficiência dos navios e o aumento da segurança são os principais objetivos a alcançar quando se propõe um projeto de Gémeo digital.



Evolução das tecnologias de aplicação

A evolução das tecnologias facilitadoras, liderada pelos avanços da Inteligência Artificial, constitui um cenário ideal para o desenvolvimento e a implementação de projetos de Gémeo Digital no setor.



Identificação de casos de utilização

Identificar um caso de utilização claro que esteja alinhado com a estratégia e as necessidades da empresa é fundamental quando se considera um projeto de Gémeo digital e se consegue enfrentar os desafios envolvidos.

A concentração destes esforços recentes no setor implica uma consciência **crescente do potencial de transformação desta tecnologia**, da sua capacidade para enfrentar desafios complexos e do seu futuro promissor no setor da construção naval.

Após uma análise cuidadosa do papel do Gêmeo digital no setor naval, podem ser retiradas várias conclusões importantes:

Tecnologias emergentes e disruptivas

O Gêmeo digital está a emergir como uma tecnologia disruptiva que está a ganhar força no setor naval. A sua capacidade de simular, modelar e otimizar processos em tempo real oferece oportunidades para melhorar a eficiência e a produtividade na indústria.

Potencial de transformação

Apesar de o número de projetos que atualmente implementam Gêmeos digitais no setor naval ser reduzido, o seu potencial de transformação é inegável. Da simulação do projeto à otimização da cadeia de abastecimento, esta tecnologia promete revolucionar a forma como os navios são desenhados, construídos e operados.

Relevância futura

À medida que a tecnologia continua a evoluir, o Gêmeo digital está destinado a tornar-se um elemento-chave para a indústria naval e industrial. A sua capacidade de melhorar a tomada de decisões, reduzir os custos e minimizar os riscos será crucial para se manter competitivo num mercado global em constante mudança.

Desafios e oportunidades

Ainda que o Gêmeo digital ofereça inúmeras oportunidades, também apresenta desafios, como a integração de dados, a cibersegurança e a resistência cultural à mudança. Contudo, a abordagem proativa destes desafios pode permitir às empresas navegar com êxito num futuro impulsionado pela inovação tecnológica.

Colaboração e desenvolvimento contínuo

Para concretizar todo o potencial do Gêmeo digital, é crucial promover a colaboração entre a indústria, o meio académico e o governo. Além disso, o desenvolvimento contínuo de normas, ferramentas e melhores práticas ajudará a garantir que esta tecnologia seja implementada de forma eficaz e ética.

Em conclusão, sublinhamos que **o Gêmeo digital representa uma oportunidade estimulante e promissora para a indústria naval, com potencial para transformar radicalmente a forma como os navios são desenhados, construídos e operados no futuro.** A sua adoção gradual, mas crescente, marca o início de uma nova era de inovação e eficiência na indústria naval e industrial.

Interreg



Cofinanciado por
la Unión Europea
Cofinanciado pela
União Europeia

España – Portugal

*Twin*NavAux



Asociación Cluster del
Naval Gallego (ACLUNAGA)



Universidad de da
Coruña (UDC)



Industrias Ferri SA



Ibercisa Deck Machinery SA



Electrorayma SL



Centro de Apoio Tecnológico à
Indústria Metalomecânica (CATIM)



Universidade Portucalense
Infante Dom Henrique

Projeto cofinanciado pela União Europeia através do Programa Interreg VI-A
Espanha-Portugal (POCTEP) 2021-2027