

**INTRODUÇÃO À CIÊNCIA DE DADOS
E SISTEMAS INTERATIVOS:
Uma abordagem aplicada**



Conselho Editorial da LF Editorial

Amílcar Pinto Martins — Universidade Aberta de Portugal

Arthur Belford Powell — Rutgers University, Newark, USA

Carlos Aldemir Farias da Silva — Universidade Federal do Pará

Emmánuel Lizcano Fernandes — UNED, Madri

Iran Abreu Mendes — Universidade Federal do Pará

José D'Assunção Barros — Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Luis Radford — Universidade Laurentienne, Canadá

Manoel de Campos Almeida — Pontifícia Universidade Católica do Paraná

Maria Aparecida Viggiani Bicudo — Universidade Estadual Paulista — UNESP/Rio Claro

Maria da Conceição Xavier de Almeida — Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Maria do Socorro de Sousa — Universidade Federal do Ceará

Maria Luisa Oliveras — Universidade de Granada, Espanha

Maria Marly de Oliveira — Universidade Federal Rural de Pernambuco

Raquel Gonçalves-Maia — Universidade de Lisboa

Teresa Vergani — Universidade Aberta de Portugal

INTRODUÇÃO À CIÊNCIA DE DADOS E SISTEMAS INTERATIVOS: Uma abordagem aplicada Volume II

ORGANIZADORES:

Ana Grasielle Dionísio Corrêa

Arnaldo Rabello de Aguiar Vallim Filho

Maria Amelia Eliseo

Valéria Farinazzo Martins

Uma produção do:
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM COMPUTAÇÃO APLICADA
FACULDADE DE COMPUTAÇÃO E INFORMÁTICA
UNIVERSIDADE PRESBITERIANA MACKENZIE**



2025

Copyright ©2025 Editora Livraria da Física

1a. Edição

Editores: VÍCTOR PEREIRA MARINHO e JOSÉ ROBERTO MARINHO
Projeto gráfico e diagramação: THIAGO AUGUSTO SILVA DOURADO
Capa: FABRÍCIO RIBEIRO

Texto em conformidade com as novas regras ortográficas do Acordo da Língua Portuguesa.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

Introdução à ciência de dados e sistemas interativos : uma abordagem aplicada : volume II /
organizadores Ana Grasielle Dionísio Corrêa...[et al.]. — 1. ed. — São Paulo : LF Editorial, 2025.

Vários autores.

Outros organizadores: Arnaldo Rabello de Aguiar Vallim Filho, Maria Amelia Eliseo, Valéria Farinazzo
Martins.

Bibliografia.

ISBN 978-65-5563-586-7

1. Ciência da Computação 2. Dados - Estruturas (Ciência da computação) 3. Inclusão digital 4.
Inteligência artificial 5. Pessoas com deficiência - Acessibilidade 6. Pessoas com deficiência visual I. Corrêa,
Ana Grasielle Dionísio. II. Vallim Filho, Arnaldo Rabello de Aguiar. III. Eliseo, Maria Amelia. IV. Martins,
Valéria Farinazzo.

25-273356

CDD-005.73

Índices para catálogo sistemático:

1. Dados : Estruturas : Processamento de dados 005.73

Aline Grazielle Benitez – Bibliotecária – CRB-1/3129

Todos os direitos reservados. Nenhuma parte desta obra poderá ser reproduzida sejam quais forem os meios
empregados sem a permissão da Editora. Aos infratores aplicam-se as sanções previstas nos artigos 102, 104,
106 e 107 da Lei n. 9.610, de 19 de fevereiro de 1998.

Impresso no Brasil

Printed in Brazil



www.lfeditorial.com.br

Visite nossa livraria no Instituto de Física da USP

www.livrariadafisica.com.br

Telefones:

(11) 2648-6666 | Loja do Instituto de Física da USP

(11) 3936-3413 | Editora

Agradecimentos

A realização desta obra contou com a colaboração de muitas pessoas que contribuíram de forma essencial para sua concretização. Agradecemos, em primeiro lugar, aos autores e autoras dos capítulos, cujos trabalhos refletem o compromisso com a qualidade acadêmica, a relevância social e a inovação tecnológica na área de Computação Aplicada.

Registramos com especial apreço a participação de discentes e egressos do Programa de Pós-Graduação em Computação Aplicada (PPGCA), da Universidade Presbiteriana Mackenzie, que compartilharam suas pesquisas e experiências, evidenciando o potencial transformador da formação acadêmica quando aliada à prática e ao engajamento com os desafios do mundo real.

Aos orientadores e coorientadores que acompanharam de perto o desenvolvimento das pesquisas, nosso reconhecimento pela dedicação, pelo incentivo constante e pela orientação qualificada.

Estendemos nossos agradecimentos aos revisores dos capítulos, que com atenção, generosidade e olhar crítico, contribuíram para a melhoria do conteúdo e para a consistência científica desta obra.

À Universidade Presbiteriana Mackenzie, agradecemos pelo suporte institucional, pela infraestrutura oferecida e pelo constante estímulo à produção e à difusão do conhecimento.

Aos organizadores desta coletânea, nosso agradecimento especial pelo empenho em articular autores, temas e cronogramas, viabilizando a publicação de um material coerente, atual e de alta relevância para a área.

Por fim, agradecemos aos leitores e leitoras, na expectativa de que esta obra possa inspirar novas ideias, colaborações e iniciativas voltadas ao avanço da Computação Aplicada em suas múltiplas dimensões.

Valéria Farinazzo Martins

Coordenadora do Programa de Pós-graduação em Computação Aplicada

Comitê Editorial

Prof. Dr. Agnaldo Aragon Fernandes – Universidade Nove de Julho (UNINOVE)

Prof. Dr. Alexandre Cardoso – Universidade Federal de Uberlândia (UFU)

Prof. Dr. Andre Luiz Satoshi Kawamoto – Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)

Prof. Dr. Bruno da Silva Rodrigues – Universidade Presbiteriana Mackenzie (UPM)

Prof. Msc. Carlos Eduardo Dantas de Menezes – Instituto Mauá de Tecnologia (IMT)

Prof. Dr. Cesar Collazos – Universidad de Cauca, Colombia

Profa. MSc. Cibele Cesario da Silva Spigel – Universidade Presbiteriana Mackenzie (UPM)

Profa. Dra. Daisy Cristine Albuquerque da Silva – Exército Brasileiro – DECEX

Prof. Dr. Eurico Luiz Prospero Ruivo – Universidade Presbiteriana Mackenzie (UPM)

Profa. Dra. Gilda Aparecida de Assis – Universidade Federal de Ouro Preto (UFOP)

Prof. Dr. João Soares de Oliveira Neto – Universidade Federal da Bahia (UFBA)

Prof. Dr. Leonardo Souza Silva – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS)

Profa. Dra. Marina Carradore Sérgio – Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)

Prefácio

Este volume II do livro “Introdução à Ciência de Dados e Sistemas Interativos: Uma abordagem aplicada” dá continuidade ao propósito iniciado na obra anterior: apresentar, de forma didática e aplicada, temas contemporâneos e relevantes no campo da Computação Aplicada. Com o objetivo de apoiar o desenvolvimento técnico e científico de pesquisadores, professores e alunos da pós-graduação, os capítulos aqui reunidos abordam, de forma acessível, questões teóricas e práticas ligadas à Ciência de Dados, Métodos Analíticos e Sistemas Interativos.

Neste volume, temos uma contribuição especialmente significativa: a participação de discentes e egressos do Programa de Pós-Graduação em Computação Aplicada (PPGCA), cujos trabalhos refletem não apenas excelência acadêmica, mas também forte alinhamento com demandas reais de inovação, sociedade e indústria.

O livro está estruturado em seis capítulos, organizados a partir de três eixos temáticos principais: **Digital Twins e Sistemas Interativos**, **Acessibilidade e Inclusão Digital**, e **Ciência de Dados e Inteligência Artificial Aplicada**.

No primeiro capítulo, “Arquitetura de Digital Twins: Um estudo de caso sobre uma arquitetura de Digital Twin para Open Finance”, os autores discutem os fundamentos e as tipologias dos gêmeos digitais, explorando sua aplicação no setor financeiro com foco na modelagem de processos e sistemas de dados em tempo real.

O segundo e o terceiro capítulos aprofundam a discussão sobre **acessibilidade** em ambientes digitais. O Capítulo 2, “Acessibilidade para deficientes visuais em ambientes virtuais de aprendizagem”, aborda estratégias e recursos para tornar os Ambientes Virtuais de Aprendizagem mais inclusivos, especialmente para estudantes com deficiência visual. O Capítulo 3, “Avaliação de acessibilidade de aplicações destinadas a pessoas com TEA”, propõe um modelo heurístico adaptado às especificidades do

Transtorno do Espectro Autista, combinando fundamentos de Interação Humano-Computador e Saúde.

O Capítulo 4, “RastreiaAgroBR: Sistema de Rastreabilidade de Produtos Agrícolas Brasileiros”, apresenta o desenvolvimento de uma solução web que responde às exigências regulatórias de mercados internacionais, como o EUDR, visando à rastreabilidade de produtos do agronegócio brasileiro.

Já o Capítulo 5, “Meta-heurísticas e Técnicas de Otimização Aplicadas – Aplicações”, oferece uma visão aplicada das técnicas de otimização matemática e meta-heurísticas, explorando estudos de caso desenvolvidos por alunos do PPGCA, com aplicações em diferentes contextos.

Por fim, o Capítulo 6, “Chatbots Inteligentes na Saúde: Implementações com Modelos Abertos e Dados Próprios”, apresenta o uso de grandes modelos de linguagem (LLMs) para a construção de chatbots personalizados na área da saúde, discutindo tanto os aspectos técnicos quanto os desafios éticos envolvidos.

Cada capítulo segue uma estrutura didática que contempla introdução conceitual, fundamentação teórica, exemplos práticos e, sempre que possível, atividades complementares que estimulam a reflexão crítica e a aplicação do conhecimento.

Esperamos que esta obra contribua para o fortalecimento do debate e da prática na área de Computação Aplicada, fomentando o diálogo entre a academia e o setor produtivo, e, sobretudo, inspirando novas pesquisas, desenvolvimentos e colaborações.

ORGANIZADORES:

Ana Grasielle Dionísio Corrêa

Arnaldo Rabello de Aguiar Vallim Filho

Maria Amelia Eliseo

Valéria Farinazzo Martins

Sumário

Agradecimentos	V
Comitê Editorial	VII
Prefácio	IX
1 Arquitetura de Digital Twins: Um estudo de caso sobre uma Arquitetura de Digital Twin para Open Finance	
<i>João Eduardo Cosentino Bachmann, Ismar Frango Silveira, Ana Cláudia Rossi, Valéria Farinazzo Martins</i>	1
1.1 Introdução	1
1.2 Referencial Teórico	3
1.2.1 Conceitos e Características de DT	3
1.2.2 Tipos de DT	5
1.2.3 Tipos de Arquitetura de DT	6
1.2.4 Áreas de Aplicação de DT	14
1.2.5 Trabalhos Relacionados	16
1.3 Apresentação da aplicação em Open Finance	18
1.3.1 Contextualização	20
1.3.2 Descrição	21
1.3.3 Resultados	22
1.3.3.1 DT em Aplicações Não-3D	22
1.3.3.2 DTs no Contexto de Open Finance	23
1.4 Conclusão	26
2 Acessibilidade para deficientes visuais em ambientes virtuais de aprendizagem	
<i>Rafael de Sá Mascarenhas, Maria Amelia Eliseo</i>	33
2.1 Introdução	33

2.2	Referencial Teórico	34
2.2.1	Acessibilidade Digital	34
2.2.1.1	Diretrizes de acessibilidade do WCAG 2.2 . . .	35
2.2.2	Ambientes virtuais de aprendizagem	37
2.2.3	Recursos de acessibilidade de Ambientes virtuais de aprendizagem	38
2.3	Estudo de caso: Avaliação de acessibilidade e recomendações para conteúdos digitais acessíveis	38
2.3.1	Estrutura da disciplina	39
2.4	Avaliação de acessibilidade	40
2.4.1	Avaliação automatizada de acessibilidade	42
2.4.2	Inspeção manual nos conteúdos	43
2.4.3	Criação de materiais didáticos acessíveis no Canvas . .	46
2.5	Conclusões	49
3	Avaliação de acessibilidade de aplicações destinadas a pessoas com TEA: Proposta de um modelo de avaliação <i>Valéria Farinazzo Martins, Flávio Hergersheimer Navikas, Fernanda Dreux Miranda Fernandes, Cibelle Albuquerque de la Higuera Amato</i>	53
3.1	Introdução	53
3.2	Referencial Teórico	55
3.2.1	Acessibilidade e Inclusão Digital	55
3.2.2	Transtorno do Espectro do Autismo	56
3.2.3	Avaliação de Usabilidade	58
3.2.4	Guidelines for Accessible Interfaces for People with Autism – GAIA	61
3.2.5	AASPIRE	62
3.3	Apresentação do Estudo de Caso	63
3.3.1	Contextualização	63
3.3.2	Descrição	64
3.3.3	Resultados	65
3.4	Conclusões	72
4	RastreiaAgroBR: Sistema de Rastreabilidade de Produtos Agrícolas Brasileiros <i>Paulo Alexandre de Miranda, Ana Grasielle Dionísio Corrêa</i>	79
4.1	Introdução	79
4.2	Desafios do Crescimento Populacional no Século XXI: Impactos no Setor Agrícola	82

4.2.1	O Processo de Rastreabilidade de Produtos Agrícolas . .	84
4.2.2	Sistemas Correlatos: Inovações em Rastreabilidade no Agronegócio	85
4.3	Aplicação: Proposta do Sistema de Rastreabilidade de Produtos Agrícolas Brasileiros	86
4.4	Conclusões	95
5	Meta-heurísticas e Técnicas de Otimização Aplicadas – APLICAÇÕES	
	<i>Arnaldo Rabello de Aguiar Vallim Filho, Ismar Frango Silveira, Kaleb Rodrigues de Oliveira, Samuel Willian Alves Wu, Jacques Fassa Pilnik, Valeria dos Santos Souza</i>	99
5.1	Introdução	99
5.2	Programação Matemática	101
5.3	Programação Linear	102
5.4	Conceitos e Visão Geral de Meta-Heurísticas	104
5.5	Aplicação No. 01: Otimização de Carteiras de Investimento em Ações utilizando Meta-Heurísticas	118
5.6	Aplicação No. 02: Problema da Localização de Instalações (<i>Facility Location Problem – FLP</i>)	128
5.7	Aplicação No. 03: Otimização de Rotas para Entrega de Alimentos para Pessoas Necessitadas na cidade de São Paulo .	132
5.8	Conclusões	139
6	Chabots Inteligentes na Saúde: Implementações com Modelos Abertos e Dados Próprios	
	<i>Fabio Martiniano Sato, Júlio Eduardo Silva, Rogério de Oliveira</i>	143
6.1	Introdução	143
6.2	LLMs, os grandes modelos de linguagem	145
6.2.1	Breve histórico	145
6.2.2	Princípios dos grandes modelos de linguagem	147
6.2.3	Tokens, Embeddings, Transformers e o Mecanismo de Atenção	148
6.2.4	Arquiteturas transformers e tarefas	155
6.2.5	Modelos pré-treinados e ajuste fino	155
6.2.6	Modelos em Saúde e Aplicações	158
6.2.7	Frameworks de desenvolvimento com LLMs	158
6.3	Implementação de três diferentes soluções de chatbots inteligentes	161

6.3.1	Modelo I – LLaMA	163
6.3.2	Modelo II – LLaMA RAG	164
6.3.3	Modelo III – LLaMA Customizado	165
6.4	Conclusão	168
Minibiografias dos Autores		171

1

Arquitetura de Digital Twins: Um estudo de caso sobre uma Arquitetura de Digital Twin para Open Finance

*João Eduardo Cosentino Bachmann
Ismar Frango Silveira
Ana Cláudia Rossi
Valéria Farinazzo Martins*

1.1 Introdução

Os sistemas computacionais de larga escala são, geralmente, compostos por muitos componentes interligados e/ou independentes que trabalham juntos. Isso exige uma arquitetura que descreva como a interação funciona em geral, quais interfaces e protocolos são necessários e quais propriedades não funcionais (por exemplo, segurança, gerenciamento, desempenho) precisam ser atendidas. Para alcançar tal feito, existem diferentes conceitos e tipos de arquitetura que podem ser utilizados. Arquiteturas de Referência por exemplo, permitem um maior nível de abstração, visto que seu objetivo é dar diretrizes gerais para gerar um ponto de partida. Arquitetura de software é a estrutura fundamental ou o esqueleto de um sistema de software, que define seus componentes, suas relações e seus princípios de projeto e evolução [Bass et al., 2003]. A arquitetura de sistemas descreve a estrutura e o comportamento de um sistema específico. Ela inclui a organização dos componentes de hardware, software, redes e dados, bem como a interação entre esses componentes.

Uma das novas tecnologias que recentemente emergiu em outros campos do conhecimento é o que convencionalmente se chama de Digital Twins – DT (DTs). Inicialmente usados na indústria aeroespacial pela NASA (2010), eles agora surgem como uma inovação tecnológica aplicável a várias outras áreas, como a Educação.

Com os recentes avanços tecnológicos relacionados à largura de banda de alta velocidade, armazenamento e processamento em nuvem, sensores e atuadores de IoT (Internet das Coisas), além dos dispositivos atuais de visualização e manipulação para VR (Realidade Virtual), surgiu um cenário completamente novo. Nesse contexto, a combinação de MR (Realidade Mista) — que reúne VR e AR (Realidade Aumentada) — e DT representa uma evolução significativa na interação humano-máquina e na simulação de ambientes físicos, especialmente ao lidar com DT de componentes, ativos e ambientes — cujos tipos serão explicados posteriormente.

Os Digital Twins, que agora incorporam IoT e análise de big data, podem criar simulações realistas, em tempo real e interativas, permitindo a previsão de cenários futuros, podendo ser utilizados em diversas áreas do conhecimento, como educação, indústria até a área financeira, para otimização dos processos.

Para um sistema de Digital Twin a arquitetura precisa responder a diferentes questões: como o sistema está estruturado em relação aos subsistemas existentes; como estes subsistemas interagem entre si; como projetar os DT e quais suas partes essenciais; como os DT se comunicam com o ativo real e em relação a si mesmos; como construir um ambiente de DT; quais as infraestruturas necessárias para executar os DT [Kovacs & Mori 2023].

No setor financeiro, DTs são utilizados para modelar sistemas e processos internos, através de operações B2B, B2C e C2C. Estas permitem que os bancos e instituições financeiras possam consolidar uma enorme quantidade de dados, tornando possível a criação de réplicas digitais que realizam análises preditivas e simulam diferentes cenários econômicos, contribuindo para uma gestão de risco mais precisa e para o cumprimento de regulamentações de maneira mais eficiente. Além disso, como dito anteriormente sobre DTs incorporarem novas tecnologias, eles podem fornecer *insights* em tempo real sobre o comportamento dos mercados e das operações internas, permitindo que os bancos respondam de maneira mais ágil às mudanças e desafios do ambiente econômico.

Neste capítulo, explicaremos os conceitos básicos de Digital Twins, apresentaremos alguns modelos de arquiteturas para DTs e desenvolveremos

uma arquitetura de referência para um sistema de Digital Twin para Open Finance.

1.2 Referencial Teórico

Nesta seção, serão apresentados os conceitos fundamentais necessários para o entendimento do restante do capítulo.

1.2.1 Conceitos e Características de DT

Os Digital Twins, tidos como uma recente inovação tecnológica, principalmente utilizada na indústria e na manufatura, estão agora sendo explorados em outras diferentes áreas de aplicação, tais como Educação, Saúde e Financeira. Embora o termo tenha ganhado mais pesquisa e aplicações nos últimos anos, sua origem remonta aos anos 2010 com a NASA (2012). Inicialmente, os DTs foram definidos como simulações multifísicas e multiescalares de um veículo ou sistema, utilizando os melhores modelos físicos, sensores e histórico de voo para replicar a vida de seu equivalente real. Este conceito estava intimamente ligado à indústria aeroespacial (Van der Valk et al., 2020; Rosen et al., 2015).

Uma definição mais ampla (Zacher 2020), ainda focada na manufatura, descreve um DT como um modelo de software que serve como protótipo de um produto, empregado em todas as etapas da produção industrial para comparar o estado atual com o modelo e corrigir discrepâncias. Essa abordagem cria uma representação virtual do mundo real, permitindo uma comunicação contínua entre ambos os reinos (real e virtual) durante todo o processo de produção. Esses modelos permitem a comparação contínua entre o estado atual e o modelo ideal, possibilitando ajustes em tempo real para corrigir discrepâncias e melhorar a eficiência operacional.

Os DTs têm o potencial de criar simulações realistas e interativas que permitam aos que os usuários possam explorar, testar e entender conceitos complexos. No entanto, a implementação de DT na educação enfrenta várias barreiras, particularmente em países em desenvolvimento como o Brasil – e toda a América Latina, cuja lacuna digital (Silveira et al. 2024) é bem conhecida. Essas barreiras incluem a falta de infraestrutura, ausência de políticas públicas de apoio e o alto custo inicial e complexidade de implementação. Além disso, questões de privacidade e segurança de

dados devem ser rigorosamente abordadas em conformidade com as leis de proteção de dados dos respectivos países.

Existem algumas características que devem ser consideradas em quase todos os sistemas de DT, entre as quais é possível citar:

- **Integração de Dados em Tempo Real:** O modelo deve ser capaz de integrar dados em tempo real de vários sensores, atuadores e dispositivos para refletir com precisão o estado atual da entidade física e também agir nessa dimensão de acordo com as mudanças no DT – no caso de DT profundo [Siqueira et al. 2025]. A incapacidade de processar dados em tempo real prontamente, armazenar e recuperar dados de forma eficaz, ou evitar descartar dados necessários são problemas comuns que podem minar a abordagem e sua eficácia [Crespi; Drobot e Minerva 2023].
- **Escalabilidade:** A estrutura de modelagem deve ser escalável para lidar com a complexidade e o tamanho de diferentes sistemas, desde pequenos componentes até sistemas de grande escala [Fortino e Savaglio 2023].
- **Interoperabilidade:** Espera-se que tenha compatibilidade abrangente com vários formatos de dados, protocolos de comunicação e plataformas. Isso é essencial para garantir uma interação perfeita entre diferentes sistemas e dispositivos [Crespi; Drobot e Minerva 2023].
- **Precisão e Fidelidade:** Embora os Digital Twins (DTs) tenham a intenção de fornecer uma representação precisa de seus homólogos físicos e seus atributos e comportamentos (precisão total), há casos em que não é necessário modelar todo o sistema. Essa abordagem, conhecida como precisão parcial, foca em garantir fidelidade apenas aos componentes críticos para a simulação, com base nos requisitos do sistema [Siqueira et al. 2024].
- **Flexibilidade:** A abordagem de modelagem deve ser flexível o suficiente para acomodar mudanças na estrutura, comportamento e condições operacionais da entidade física ao longo do tempo [Fortino e Savaglio 2023].
- **Segurança:** Medidas robustas de segurança devem estar em vigor para proteger os dados e garantir a integridade e a confidencialidade das informações usadas no modelo [Saeed, Saeed e Ahmed 2024].

- **Análises Preditivas:** O modelo deve suportar capacidades de análises preditivas para prever estados e comportamentos futuros da entidade física, auxiliando na tomada de decisões proativas [Schmitt e Copps 2023].
- **Visualização:** Técnicas avançadas de visualização baseadas em MR devem ser incorporadas para fornecer representações intuitivas e abrangentes de alguns DTs, permitindo monitoramento e interação eficazes. No entanto, em uma definição mais ampla de DT, a visualização não-VR/MR pode ser necessária, especialmente para o design de processos ou sistemas DT [Siqueira et al. 2024].
- **Manutenção e Atualização:** A estrutura de modelagem deve permitir manutenção e atualizações fáceis para manter o DT atualizado com as últimas tecnologias e melhorias [Schmitt e Copps 2023].
- **Custo-efetividade:** A solução deve ser econômica, proporcionando um equilíbrio entre os benefícios oferecidos e os recursos necessários para implementação e operação. Ou seja, o DT deve melhorar o custo do ciclo de vida (LCC) otimizando a eficiência da fabricação, reduzindo despesas de manutenção, entre outros [Naseri et al. 2023].

Além destas características, é possível ainda se pensar em outras características tais como: capacidade de ser programável, facilidade de ser operado, capacidade de se integrar com modelos de IA.

1.2.2 Tipos de DT

Basicamente, os tipos de DT podem ser organizados da seguinte forma [Siqueira et al. 2024]:

- **Component Digital Twin (CDT):** Representa componentes individuais de um sistema. Esses DTs são usados para monitorar e simular o desempenho de partes específicas de um sistema maior, como um motor de carro ou uma válvula em uma planta industrial.
- **Asset Digital Twin (ADT):** Focado em ativos inteiros, como uma máquina, veículo, ou outro equipamento. O ADT monitora o desempenho e a condição do ativo ao longo de sua vida útil, ajudando na manutenção preditiva e na otimização do uso do equipamento.

- **Process Digital Twin (PDT):** É responsável por simular processos operacionais completos. É usado para otimizar processos de produção, monitorar fluxos de trabalho e identificar gargalos. PDTs são comuns em ambientes de manufatura e produção.
- **System Digital Twin (SDT):** Representa sistemas complexos que consistem em múltiplos ativos e processos interconectados. Esses DTs são usados para entender e otimizar o comportamento do sistema como um todo, como uma rede elétrica ou um sistema de transporte.
- **Environment Digital Twin (EDT):** Modela ambientes físicos, como edifícios, cidades ou ecossistemas naturais. EDTs são utilizados para monitorar e gerenciar o uso de recursos, prever mudanças ambientais e planejar intervenções urbanas.
- **Organization Digital Twin (ODT):** Representa processos e operações organizacionais. O ODT pode simular fluxos de trabalho, interações entre departamentos e o impacto de políticas e estratégias organizacionais, ajudando na tomada de decisões e na melhoria da eficiência organizacional.
- **Human Digital Twin (HDT):** Modela indivíduos humanos, incluindo suas características físicas e comportamentais. HDTs são utilizados em saúde para monitoramento de pacientes, simulações de tratamentos e personalização de cuidados médicos.

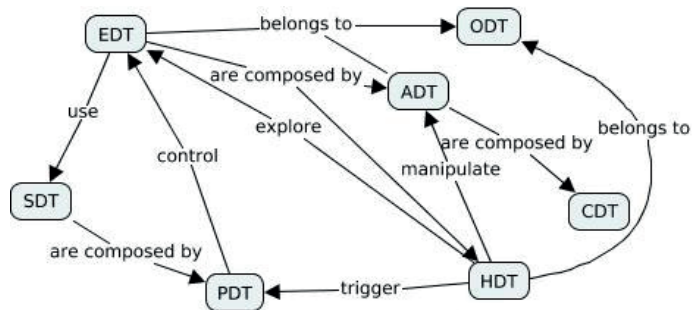


Figura 1.1. Proposta de taxonomia para Digital Twins (Silveira, et al. 2024)

1.2.3 Tipos de Arquitetura de DT

Kovacs e Mori [2023] trazem nove modelos de arquiteturas para Digital Twins de acordo com sua evolução. O primeiro modelo apresentado, foi