

VOLUME 1

organizadores

Ingrid Winkler

Paulo Eduardo Ambrósio

João Soares de Oliveira Neto

Jackson Wilke da Cruz Souza

Yasmim Thasla Santos Ferreira

COMPETÊNCIAS DO AMANHÃ

Explorando os Horizontes da Computação

SENAI
CIMATEC
UNIVERSIDADE

 pimenta
cultural

VOLUME 1

organizadores

Ingrid Winkler

Paulo Eduardo Ambrósio

João Soares de Oliveira Neto

Jackson Wilke da Cruz Souza

Yasmim Thasla Santos Ferreira

COMPETÊNCIAS DO AMANHÃ

Explorando os Horizontes da Computação

SENAI
CIMATEC
UNIVERSIDADE

I São Paulo I 2025 I

 pimenta
cultural

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)

C737

Competências do Amanhã: Explorando os Horizontes da Computação / Organização Ingrid Winkler... [et al.]. – São Paulo: Pimenta Cultural, 2025.

Demais colaboradores: Paulo Eduardo Ambrósio, João Soares de Oliveira Neto, Jackson Wilke da Cruz Souza, Yasmim Thasla Santos Ferreira.

Volume 1

Livro em PDF

ISBN 978-85-7221-423-0

DOI 10.31560/pimentacultural/978-85-7221-423-0

1. Computação. 2. Competências. 3. Informática.
4. Capacitação. 5. Formação. I. Winkler, Ingrid (Org.).
II. Ambrósio, Paulo Eduardo (Org.). III. Oliveira Neto, João
Soares de (Org.) IV. Souza, Jackson Wilke da Cruz (Org.).
V. Ferreira, Yasmim Thasla Santos (Org.). VI. Título.

CDD 004.07

Índice para catálogo sistemático:
I. Ciência da Computação – Estudo e ensino
Simone Sales - Bibliotecária - CRB ES-000814/0

Copyright © Pimenta Cultural, alguns direitos reservados.

Copyright do texto © 2025 os autores e as autoras.

Copyright da edição © 2025 Pimenta Cultural.

Esta obra é licenciada por uma Licença Creative Commons:

Atribuição-NãoComercial-SemDerivações 4.0 Internacional - (CC BY-NC-ND 4.0).

Os termos desta licença estão disponíveis em:

<<https://creativecommons.org/licenses/>>.

Direitos para esta edição cedidos à Pimenta Cultural.

O conteúdo publicado não representa a posição oficial da Pimenta Cultural.

Direção editorial	Patricia Biegging Raul Inácio Busarello
Editora executiva	Patricia Biegging
Gerente editorial	Landressa Rita Schiefelbein
Assistente editorial	Júlia Marra Torres
Estagiária editorial	Ana Flávia Pivisan Kobata
Diretor de criação	Raul Inácio Busarello
Assistente de arte	Naiara Von Groll
Editoração eletrônica	Andressa Karina Voltolini
Estagiária em editoração	Stela Tiemi Hashimoto Kanada
Imagens da capa	graphic24online, rawpixel.com - Freepik.com
Tipografias	Acumin, Apotek, Roster Compressed
Revisão	Thais Geraldi
Organizadores	Ingrid Winkler Paulo Eduardo Ambrósio João Soares de Oliveira Neto Jackson Wilke da Cruz Souza Yasmim Thasla Santos Ferreira

CONSELHO EDITORIAL CIENTÍFICO

Doutores e Doutoradas

Adilson Cristiano Habowski <i>Universidade La Salle, Brasil</i>	Bernadette Beber <i>Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil</i>
Adriana Flávia Neu <i>Universidade Federal de Santa Maria, Brasil</i>	Bruna Carolina de Lima Siqueira dos Santos <i>Universidade do Vale do Itajaí, Brasil</i>
Adriana Regina Vettorazzi Schmitt <i>Instituto Federal de Santa Catarina, Brasil</i>	Bruno Rafael Silva Nogueira Barbosa <i>Universidade Federal da Paraíba, Brasil</i>
Aguimario Pimentel Silva <i>Instituto Federal de Alagoas, Brasil</i>	Caio Cesar Portella Santos <i>Instituto Municipal de Ensino Superior de São Manuel, Brasil</i>
Alaim Passos Bispo <i>Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Brasil</i>	Carla Wanessa do Amaral Caffagni <i>Universidade de São Paulo, Brasil</i>
Alaim Souza Neto <i>Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil</i>	Carlos Adriano Martins <i>Universidade Cruzeiro do Sul, Brasil</i>
Alessandra Knoll <i>Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil</i>	Carlos Jordan Lapa Alves <i>Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Brasil</i>
Alessandra Regina Müller Germani <i>Universidade Federal de Santa Maria, Brasil</i>	Caroline Chioquetta Lorenset <i>Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil</i>
Aline Corso <i>Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Brasil</i>	Cassia Cordeiro Furtado <i>Universidade Federal do Maranhão, Brasil</i>
Aline Wendpap Nunes de Siqueira <i>Universidade Federal de Mato Grosso, Brasil</i>	Cássio Michel dos Santos Camargo <i>Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil</i>
Ana Rosangela Colares Lavand <i>Universidade Estadual do Norte do Paraná, Brasil</i>	Cecília Machado Henriques <i>Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil</i>
André Gobbo <i>Universidade Federal da Paraíba, Brasil</i>	Christiano Martino Otero Avila <i>Universidade Federal de Pelotas, Brasil</i>
André Tanus Cesário de Souza <i>Faculdade Anhanguera, Brasil</i>	Cláudia Samuel Kessler <i>Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil</i>
Andressa Antunes <i>Universidade Federal de Ouro Preto, Brasil</i>	Cristiana Barcelos da Silva <i>Universidade do Estado de Minas Gerais, Brasil</i>
Andressa Wiebusch <i>Universidade Federal de Santa Maria, Brasil</i>	Cristiane Silva Fontes <i>Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil</i>
Andreza Regina Lopes da Silva <i>Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil</i>	Daniela Susana Segre Guertzenstein <i>Universidade de São Paulo, Brasil</i>
Angela Maria Farah <i>Universidade de São Paulo, Brasil</i>	Daniele Cristine Rodrigues <i>Universidade de São Paulo, Brasil</i>
Anísio Batista Pereira <i>Universidade do Estado do Amapá, Brasil</i>	Dayse Centurion da Silva <i>Universidade Anhanguera, Brasil</i>
Antonio Edson Alves da Silva <i>Universidade Estadual do Ceará, Brasil</i>	Dayse Sampaio Lopes Borges <i>Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Brasil</i>
Antonio Henrique Coutelo de Moraes <i>Universidade Federal de Rondonópolis, Brasil</i>	Deilson do Carmo Trindade <i>Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, Brasil</i>
Arthur Vianna Ferreira <i>Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Brasil</i>	Diego Pizarro <i>Instituto Federal de Brasília, Brasil</i>
Ary Albuquerque Cavalcanti Junior <i>Universidade Federal de Mato Grosso, Brasil</i>	Dorama de Miranda Carvalho <i>Escola Superior de Propaganda e Marketing, Brasil</i>
Asterlindo Bandeira de Oliveira Júnior <i>Universidade Federal da Bahia, Brasil</i>	Edilson de Araújo dos Santos <i>Universidade de São Paulo, Brasil</i>
Bárbara Amaral da Silva <i>Universidade Federal de Minas Gerais, Brasil</i>	Edson da Silva <i>Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Brasil</i>

Elena Maria Mallmann

Universidade Federal de Santa Maria, Brasil

Eleonora das Neves Simões

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil

Eliane Silva Souza

Universidade do Estado da Bahia, Brasil

Elvira Rodrigues de Santana

Universidade Federal da Bahia, Brasil

Estevão Schultz Campos

Centro Universitário Adventista de São Paulo, Brasil

Éverly Pegoraro

Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil

Fábio Santos de Andrade

Universidade Federal de Mato Grosso, Brasil

Fabrícia Lopes Pinheiro

Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro, Brasil

Fauston Negreiros

Faustidade de Brasília, Brasil

Felipe Henrique Monteiro Oliveira

Universidade Federal da Bahia, Brasil

Fernando Vieira da Cruz

Universidade Estadual de Campinas, Brasil

Flávia Fernanda Santos Silva

Universidade Federal do Amazonas, Brasil

Gabriela Moysés Pereira

Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil

Gabriella Eldereti Machado

Universidade Federal de Santa Maria, Brasil

Germano Ehler Pollnow

Universidade Federal de Pelotas, Brasil

Geuciane Felipe Guerim Fernandes

Universidade Federal do Pará, Brasil

Geymeesson Brito da Silva

Universidade Federal de Pernambuco, Brasil

Giovanna Ofretorio de Oliveira Martin Franchi

Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil

Handherson Leylton Costa Damasceno

Universidade Federal da Bahia, Brasil

Hebert Elias Lobo Sosa

Universidad de Los Andes, Venezuela

Helciclever Barros da Silva Sales

Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira, Brasil

Helena Azevedo Paulo de Almeida

Universidade Federal de Ouro Preto, Brasil

Hendy Barbosa Santos

Faculdade de Artes do Paraná, Brasil

Humberto Costa

Universidade Federal do Paraná, Brasil

Igor Alexandre Barcelos Graciano Borges

Universidade de Brasília, Brasil

Inara Antunes Vieira Willerding

Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil

Jaziel Vasconcelos Dorneles

Universidade de Coimbra, Portugal

Jean Carlos Gonçalves

Universidade Federal do Paraná, Brasil

Joao Adalberto Campato Junior

Universidade Brasil, Brasil

Jocimara Rodrigues de Sousa

Universidade de São Paulo, Brasil

Joelson Alves Onofre

Universidade Estadual de Santa Cruz, Brasil

Jónata Ferreira de Moura

Universidade São Francisco, Brasil

Jonathan Machado Domingues

Universidade Federal de São Paulo, Brasil

Jorge Eschriqui Vieira Pinto

Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Brasil

Jorge Luís de Oliveira Pinto Filho

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Brasil

Juliana de Oliveira Vicentini

Universidade de São Paulo, Brasil

Juliano Milton Kruger

Instituto Federal do Amazonas, Brasil

Juliano Pizzano Ayoub

Universidade Estadual de Ponta Grossa, Brasil

Julierme Sebastião Morais Souza

Universidade Federal de Uberlândia, Brasil

Junior César Ferreira de Castro

Universidade de Brasília, Brasil

Katia Bruginski Mulik

Universidade de São Paulo, Brasil

Laionel Vieira da Silva

Universidade Federal da Paraíba, Brasil

Lauro Sérgio Machado Pereira

Instituto Federal do Norte de Minas Gerais, Brasil

Leonardo Freire Marino

Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Brasil

Leonardo Pinheiro Mozdzenski

Universidade Federal de Pernambuco, Brasil

Letícia Cristina Alcântara Rodrigues

Faculdade de Artes do Paraná, Brasil

Lucila Romano Tragtenberg

Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, Brasil

Lucimara Rett

Universidade Metodista de São Paulo, Brasil

Luiz Eduardo Neves dos Santos

Universidade Federal do Maranhão, Brasil

Maikel Pons Giralt

Universidade de Santa Cruz do Sul, Brasil

Manoel Augusto Polastrelli Barbosa

Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil

Marcelo Nicomedes dos Reis Silva Filho

Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Brasil

Márcia Alves da Silva

Universidade Federal de Pelotas, Brasil

Marcio Bernardino Sirino

Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro, Brasil

Marcos Pereira dos Santos

Universidad Internacional Iberoamericana del Mexico, México

Marcos Uzel Pereira da Silva

Universidade Federal da Bahia, Brasil

Marcus Fernando da Silva Praxedes

Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Brasil

Maria Aparecida da Silva Santandel

Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Brasil

Maria Cristina Giorgi

Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, Brasil

Maria Edith Maroca de Avelar

Universidade Federal de Ouro Preto, Brasil

Marina Bezerra da Silva

Instituto Federal do Piauí, Brasil

Marines Rute de Oliveira

Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Brasil

Maurício José de Souza Neto

Universidade Federal da Bahia, Brasil

Michele Marcelo Silva Bortolai

Universidade de São Paulo, Brasil

Mônica Tavares Orsini

Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil

Nara Oliveira Salles

Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Brasil

Neide Araujo Castilho Teno

Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul, Brasil

Neli Maria Mengalli

Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, Brasil

Patricia Biegging

Universidade de São Paulo, Brasil

Patricia Flavia Mota

Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Brasil

Patrícia Helena dos Santos Carneiro

Universidade Federal de Rondônia, Brasil

Rainei Rodrigues Jadejiski

Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil

Raul Inácio Busarello

Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil

Raymundo Carlos Machado Ferreira Filho

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil

Ricardo Luiz de Bittencourt

Universidade do Extremo Sul Catarinense, Brasil

Roberta Rodrigues Ponciano

Universidade Federal de Ubertândia, Brasil

Robson Teles Gomes

Universidade Católica de Pernambuco, Brasil

Rodiney Marcelo Braga dos Santos

Universidade Federal de Roraima, Brasil

Rodrigo Amancio de Assis

Universidade Federal de Mato Grosso, Brasil

Rodrigo Sarruge Molina

Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil

Rogério Rauber

Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Brasil

Rosane de Fatima Antunes Obregon

Universidade Federal do Maranhão, Brasil

Samuel André Pompeo

Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Brasil

Sebastião Silva Soares

Universidade Federal do Tocantins, Brasil

Silmar José Spinardi Franchi

Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil

Simone Alves de Carvalho

Universidade de São Paulo, Brasil

Simoni Urnau Bonfiglio

Universidade Federal da Paraíba, Brasil

Stela Maris Vaucher Farias

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil

Tadeu João Ribeiro Baptista

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Brasil

Taiane Aparecida Ribeiro Nepomoceno

Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Brasil

Taíza da Silva Gama

Universidade de São Paulo, Brasil

Tania Micheline Miorando

Universidade Federal de Santa Maria, Brasil

Tarcísio Vanzin

Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil

Tascieli Feltrin

Universidade Federal de Santa Maria, Brasil

Tatiana da Costa Jansen

Serviço Nacional de Aprendizagem Comercial, Brasil

Tayson Ribeiro Teles

Universidade Federal do Acre, Brasil

Thiago Barbosa Soares

Universidade Federal do Tocantins, Brasil

Thiago Camargo Iwamoto

Universidade Estadual de Goiás, Brasil

Thiago Medeiros Barros

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Brasil

Tiago Mendes de Oliveira

Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Brasil

Vanessa de Sales Marruche

Universidade Federal do Amazonas, Brasil

Vanessa Elisabete Raue Rodrigues

Universidade Estadual do Centro Oeste, Brasil

Vania Ribas Ulbricht

Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil

Vinicius da Silva Freitas

Centro Universitário Vale do Cricaré, Brasil

Wellington Furtado Ramos
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Brasil

Wellton da Silva de Fatima
Instituto Federal de Alagoas, Brasil

Wenis Vargas de Carvalho
Universidade Federal da Grande Dourados, Brasil

Yan Masetto Nicolai
Universidade Federal de São Carlos, Brasil

PARECERISTAS E REVISORES(AS) POR PARES

Avaliadores e avaliadoras Ad-Hoc

Alcidinei Dias Alves
Logos University International, Estados Unidos

Alessandra Figueiró Thornton
Universidade Luterana do Brasil, Brasil

Alexandre João Appio
Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Brasil

Artur Pires de Camargos Júnior
Universidade do Vale do Sapucaí, Brasil

Bianka de Abreu Severo
Universidade Federal de Santa Maria, Brasil

Carlos Eduardo B. Alves
Universidade Federal do Agreste de Pernambuco, Brasil

Carlos Eduardo Damian Leite
Universidade de São Paulo, Brasil

Catarina Prestes de Carvalho
Instituto Federal Sul-Rio-Grandense, Brasil

Davi Fernandes Costa
Secretaria Municipal de Educação de São Paulo, Brasil

Denilson Marques dos Santos
Universidade do Estado do Pará, Brasil

Domingos Aparecido dos Reis
Must University, Estados Unidos

Edson Vieira da Silva de Camargos
Logos University International, Estados Unidos

Edwins de Moura Ramires
Serviço Nacional de Aprendizagem Comercial, Brasil

Elisienne Borges Leal
Universidade Federal do Piauí, Brasil

Elizabete de Paula Pacheco
Universidade Federal de Ubertândia, Brasil

Elton Simomukay
Universidade Estadual de Ponta Grossa, Brasil

Francisco Geová Goveia Silva Júnior
Universidade Potiguar, Brasil

Indiamaris Pereira
Universidade do Vale do Itajaí, Brasil

Jacqueline de Castro Rimá
Universidade Federal da Paraíba, Brasil

Jonas Lacchini
Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Brasil

Lucimar Romeu Fernandes
Instituto Politécnico de Bragança, Brasil

Marcos de Souza Machado
Universidade Federal da Bahia, Brasil

Michele de Oliveira Sampaio
Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil

Nívea Consuêlo Carvalho dos Santos
Serviço Nacional de Aprendizagem Comercial, Brasil

Pedro Augusto Paula do Carmo
Universidade Paulista, Brasil

Rayner do Nascimento Souza
Serviço Nacional de Aprendizagem Comercial, Brasil

Samara Castro da Silva
Universidade de Caxias do Sul, Brasil

Sidney Pereira Da Silva
Stockholm University, Suécia

Suêlen Rodrigues de Freitas Costa
Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil

Thais Karina Souza do Nascimento
Instituto de Ciências das Artes, Brasil

Viviane Gil da Silva Oliveira
Universidade Federal do Amazonas, Brasil

Walmir Fernandes Pereira
Miami University of Science and Technology, Estados Unidos

Weyber Rodrigues de Souza
Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Brasil

William Roslindo Paranhos
Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil

Parecer e revisão por pares

Os textos que compõem esta obra foram submetidos para avaliação do Conselho Editorial da Pimenta Cultural, bem como revisados por pares, sendo indicados para a publicação.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1

Ingrid Winkler
André M. Cordeiro
Regina M. C. Leite
Marcio F. Catapan
Alexandre G. Siqueira
Yasmim Thasla Ferreira
Lucas G. G. Almeida
Paulo Eduardo Ambrósio
Luiz Claudio Machado
Rafael Miguez

**Biofeedback & multissensorialidade
na avaliação de experiências do usuário
em ambientes virtuais imersivos..... 11**

CAPÍTULO 2

João Augusto Coêlho Chagas
José Alberto Díaz Amado
Crescencio Rodrigues
Cleia Santos Libarino
João Soares

**Processo imersivo de treinamento
com Unreal Engine:
impressoras 3D.....31**

CAPÍTULO 3

Elisrenan Barbosa da Silva
Edilene Carvalho da Paixão
Mariano Florêncio Mendonça
Luiz Felipe Cirqueira dos Santos

**Arquitetura Cloud AWS com foco
em Software Serverless44**

CAPÍTULO 4

Cayo Pablo Santana de Jesus

Alfredo Eurico Rodrigues Matta

Francisca de Paula Santos da Silva

Maludiane Nascimento Mamede

Introdução às práticas web acessíveis.....69

CAPÍTULO 5

Paulo F. C. Fonseca

Apropriação sociotécnica da IA generativa

para/pelo Sul Global:

uma proposta normativa e conceitual 92

CAPÍTULO 6

Ismar Frango Silveira

João Soares de Oliveira Neto

Alexandre Gomes de Siqueira

Alexandre Cardoso

Valéria Farinazzo Martins

Maria Amelia Eliseo

Digital Twins:

conceitos, desafios, tendências e oportunidades 116

Sobre os autores e as autoras..... 148

Índice remissivo..... 159

1

*Ingrid Winkler
André M. Cordeiro
Regina M. C. Leite
Marcio F. Catapan
Alexandre G. Siqueira
Yasmim Thasla Ferreira
Lucas G. G. Almeida
Paulo Eduardo Ambrósio
Luiz Claudio Machado
Rafael Miguez*

BIOFEEDBACK & MULTISSENSORIALIDADE NA AVALIAÇÃO DE EXPERIÊNCIAS DO USUÁRIO EM AMBIENTES VIRTUAIS IMERSIVOS

SUMÁRIO

RESUMO:

Este capítulo explora a integração entre realidade virtual, biofeedback e multissensorialidade, destacando como essas tecnologias potencializam a criação de experiências imersivas, interativas e responsivas. A realidade virtual permite a construção de ambientes tridimensionais que oferecem aos usuários uma elevada sensação de presença e liberdade de interação. O biofeedback, por sua vez, viabiliza o monitoramento em tempo real de sinais fisiológicos, favorecendo maior autoconsciência corporal, cognitiva e emocional, além de possibilitar a personalização dinâmica dos ambientes virtuais. O texto apresenta os fundamentos dessas tecnologias, com foco em três sensores amplamente utilizados: rastreamento ocular, variabilidade da frequência cardíaca e eletroencefalografia. Também são abordados os princípios da multissensorialidade, com ênfase na incorporação de estímulos olfativos e gustativos, e os métodos para avaliação da experiência do usuário, evidenciando como a combinação dessas abordagens contribui para o desenvolvimento de ambientes virtuais mais eficazes, engajadores e centrados no usuário.

INTRODUÇÃO

A Realidade Virtual (RV) desponta como uma das mais importantes inovações tecnológicas das últimas décadas, possibilitando a criação de Ambientes Virtuais Imersivos (AVI) que simulam contextos reais ou imaginários. Por meio de dispositivos como óculos, sensores e controladores, os usuários podem interagir com cenários digitais em tempo real, explorando espaços e executando tarefas com liberdade de movimento e uma elevada sensação de presença (Slater; Sanchez-Vives, 2016; Freeman *et al.*, 2017).

Paralelamente, o biofeedback surge como uma abordagem que permite o monitoramento e a devolutiva de sinais fisiológicos em tempo real, promovendo maior consciência corporal, emocional e cognitiva (Khan; Muxty, 2020). A convergência entre RV e biofeedback tem potencial transformador em diversos setores, como educação, saúde, treinamentos industriais, entretenimento, reabilitação e pesquisa em interação humano-computador (Kosmalla *et al.*, 2022).

Observa-se uma tendência crescente da integração de tecnologias emergentes nos ambientes virtuais imersivos, a prática da multissensorialidade, que combina estímulos visuais, auditivos, táteis, olfativos e até gustativos, vem se consolidando como uma estratégia para ampliar o realismo, a imersão e o impacto emocional dos ambientes virtuais (Villani, 2020).

Este capítulo apresenta os fundamentos dos ambientes virtuais imersivos, abordando os princípios do biofeedback aplicado à RV, as potencialidades da multissensorialidade e os métodos para a avaliação da experiência do usuário em AVIs.

FUNDAMENTOS DE AMBIENTES VIRTUAIS IMERSIVOS

Ambientes virtuais imersivos são espaços digitais tridimensionais que simulam ou expandem a percepção da realidade, proporcionando ao usuário sensações de presença, interatividade e engajamento por meio de múltiplos estímulos sensoriais (Milgram; Kishino, 1994). Esses ambientes podem ser acessados de forma síncrona por usuários geograficamente distribuídos, permitindo interação em tempo real, seja para fins educacionais, profissionais, de entretenimento ou sociais. AVIs são denominados também como mundos virtuais imersivos, mundos 3D ou, mais recentemente, como componentes estruturais do metaverso (Ball, 2022).

A realidade virtual é definida como uma simulação tridimensional gerada por computador, na qual os usuários podem se sentir fisicamente presentes e interagir de modo ativo com os elementos do ambiente virtual (Jerald, 2015). A imersão é alcançada por meio de dispositivos como headsets de RV, fones de ouvido, controladores manuais, sensores de movimento e, cada vez mais, dispositivos hápticos, olfativos e sistemas de rastreamento ocular (Staler; Sanchez-Vives, 2016). A RV permite experiências que não se restringem à replicação do mundo físico, oferecendo possibilidades de exploração de espaços imaginários, artísticos ou simulados para treinamento, pesquisa ou lazer (Freina; Ott, 2015).

SUMÁRIO

Figura 1 – Pessoa usando headset de realidade virtual em ambiente imersivo digital



Fonte: OPENAI. Usuário interagindo na Realidade Virtual [10].

Do ponto de vista cognitivo, a percepção da realidade resulta da integração de estímulos sensoriais com os processos mentais que interpretam esses dados. Assim, ambientes imersivos, mesmo artificiais, são capazes de evocar sensações de realidade, desencadeando respostas emocionais, comportamentais e cognitivas equivalentes às experiências do mundo físico (Parisi, 2022).

O realismo percebido em ambientes virtuais resulta da combinação entre gráficos tridimensionais de alta qualidade, motores de renderização, algoritmos de física, áudio espacializado e sistemas de interação natural, como rastreamento de mãos, olhos e movimentos corporais (Cummins; Schuller, 2020). Essa integração tecnológica permite que os usuários interajam intuitivamente, utilizando gestos, olhares, fala e movimentos, reduzindo a curva de aprendizado e potencializando o engajamento na experiência (La Valle, 2017).

O desenvolvimento das tecnologias de RV, Realidade Aumentada (RA) e Realidade Mista (MR) ocorreu de forma convergente, cada uma expandindo a capacidade de interação entre o usuário e os ambientes digitais. A RA permite sobrepor objetos virtuais ao mundo físico em tempo real, enquanto a MR oferece uma fusão mais profunda entre elementos reais e virtuais, permitindo que ambos coexistam e interajam de forma dinâmica (Lee; Wong; Lee, 2023). O termo Realidade Estendida (XR) é um conceito guarda-chuva que engloba RV, RA e MR, representando qualquer tecnologia que expanda ou modifique a percepção do usuário em relação à realidade física ou digital (Azuma, 1997).

A interação dessas tecnologias tem impulsionado o desenvolvimento do metaverso, definido como uma rede interoperável de mundos virtuais tridimensionais, persistentes, renderizados em tempo real e experimentados de forma síncrona por um número ilimitado de usuários (Ball, 2022). Esse ambiente virtual compartilhado mantém continuidade de identidade, histórico, objetos digitais e interações sociais, econômicas e culturais. Assim, os AVIs são como a base estrutural do metaverso, oferecendo não apenas experiências imersivas, mas também infraestrutura para uma nova camada de interações humanas mediadas digitalmente.

BIOFEEDBACK EM AMBIENTES VIRTUAIS IMERSIVOS

O biofeedback em AVI refere-se ao processo de coleta, monitoramento e análise em tempo real de sinais fisiológicos dos usuários durante sua interação com ambientes virtuais. Esse recurso permite não apenas avaliar o estado físico, emocional e cognitivo dos participantes, mas também ajustar dinamicamente

os parâmetros da simulação, favorecendo processos de autorregulação, autoconsciência e aprimoramento da experiência imersiva (Wiederhold; Wiederhold, 2005).

Entre as principais métricas fisiológicas utilizadas no contexto de RV estão a frequência cardíaca (HR) e a variabilidade da frequência cardíaca (HRV), amplamente associadas aos níveis de excitação, estresse e relaxamento do usuário. A análise da condutância da pele (GSR), que mede variações na atividade eletrodérmica, fornece insights sobre respostas emocionais intensas diante de determinados estímulos virtuais (Critchley, 2002).

O uso de dispositivos vestíveis como *smartwatches* tem se consolidado como uma alternativa prática e eficaz para a coleta de dados fisiológicos em tempo real, especialmente no monitoramento da HRV. Modelos como o Samsung Galaxy Watch 7, integrados a *headsets* de RV, têm sido empregados em ambientes imersivos para registrar respostas relacionadas ao estresse, relaxamento e engajamento dos usuários. A portabilidade e a conectividade desses dispositivos facilitam a sincronização dos dados com as experiências virtuais, tornando possível adaptar o ambiente conforme as respostas fisiológicas do usuário. Essa abordagem permite, por exemplo, ajustar o nível de desafio ou a intensidade sensorial de simulações baseadas no estado emocional detectado, favorecendo experiências mais personalizadas e responsivas (Miguez *et al.*, 2024).

SUMÁRIO

Figura 2 – Uso de smartwatch para a coleta de dados fisiológicos



Fonte: Miguez et al., 2024.

Além disso, a eletromiografia (EMG) é aplicada para monitorar a atividade muscular, especialmente em regiões como mandíbula, ombros ou rosto, sendo um indicador sensível de tensão, desconforto ou sobrecarga física e emocional (Tassinari; Cacioppo; Vanman, 2007). O monitoramento da dilatação pupilar e dos padrões respiratórios também oferece indicadores valiosos de carga cognitiva e envolvimento emocional. Por exemplo, pupilas dilatadas e respiração acelerada podem ser correlacionadas a estados de alerta, ansiedade ou elevado engajamento (Bradley *et al.*, 2008).

Outra ferramenta utilizada nesse contexto é o eletroencefalograma (EEG), que permite acessar informações diretas sobre a atividade elétrica cerebral, possibilitando a identificação de padrões associados à atenção, ao foco, ao relaxamento ou à sobrecarga cognitiva. A integração do EEG em experiências de RV tem sido particularmente útil para a detecção de fadiga mental e o ajuste dinâmico das tarefas propostas (Kober; Neuper, 2012; Berka *et al.*, 2007).

SUMÁRIO

A utilização combinada desses dados fisiológicos possibilita a criação de sistemas inteligentes que se adaptam em tempo real às necessidades do usuário. Por exemplo, uma redução na HRV acompanhada de aumento na GSR pode indicar um estado elevado de estresse, levando o sistema a reduzir a dificuldade da tarefa, ajustar os estímulos visuais ou sonoros, ou sugerir pausas estratégicas. Da mesma forma, picos de EMG podem sinalizar tensão muscular excessiva, comum em simulações que exigem precisão motora, como treinamentos médicos ou operações industriais (Parsons; Rizzo, 2008).

Outro indicador que tem ganhado destaque como ferramenta de biofeedback em ambientes virtuais imersivos é o rastreamento ocular (*eye tracking*). Essa tecnologia permite monitorar em tempo real a posição e o movimento dos olhos dos usuários dentro do ambiente virtual, gerando dados tridimensionais sobre o ponto de foco visual. A análise desses dados possibilita a criação de mapas de calor, que evidenciam as áreas mais observadas, contribuindo para avaliar o grau de atenção, distração ou interesse do usuário durante a simulação. Em estudos na indústria automotiva, por exemplo, o uso de *eye tracking* em ambientes de RV permitiu identificar padrões de percepção de condutores, apoiar testes de usabilidade e otimizar a disposição de interfaces no interior de veículos, aumentando a segurança e a eficiência da experiência (Míguez *et al.*, 2025).

Figura 3 – Exemplo de um mapa de calor baseado em dados de rastreamento ocular em RV



Fonte: Míguez *et al.*, 2025.

Essa abordagem amplia as aplicações de RV que podem servir para apoio terapêutico, treinamento adaptativo, avaliação de desempenho e regulação emocional. Ambientes sensíveis ao estado fisiológico do usuário permitem que experiências sejam ajustadas para maximizar a eficácia, a segurança e o bem-estar durante sua utilização (Repetto; Riva, 2011), o que apoia a consolidação da realidade virtual como uma tecnologia centrada no usuário, capaz de alinhar a interação digital às necessidades biológicas e emocionais dos indivíduos.

MULTISSENSORIALIDADE EM AMBIENTES VIRTUAIS IMERSIVOS

A multissensorialidade em AVI refere-se à integração coordenada de múltiplos sentidos humanos para criar experiências mais realistas, envolventes e imersivas. Ao estimular não apenas a visão e a audição, mas também o tato, o olfato e o paladar, os sistemas multissensoriais ampliam a percepção do usuário, promovendo uma sensação mais completa de presença no ambiente virtual (Wiederhold *et al.*, 2021). Essa abordagem busca reproduzir a complexidade da percepção humana, na qual os sentidos interagem de forma dinâmica e complementar para construir a experiência do mundo real.

A integração dos sentidos nos AVIs está ligada ao uso do bio-feedback para monitorar e adaptar a experiência em tempo real. Ao captar sinais fisiológicos relacionados às respostas sensoriais e emocionais do usuário, o sistema pode ajustar estímulos multissensoriais para otimizar o engajamento e o conforto, promovendo um equilíbrio entre excitação e relaxamento (Pallavicini; Mantovani, 2017). Por exemplo, a detecção de um aumento na frequência cardíaca ou na condutância da pele pode indicar que o estímulo olfativo ou auditivo

está provocando um impacto emocional intenso, permitindo que o ambiente virtual responda com modificações apropriadas para evitar sobrecarga sensorial. Entre os sentidos menos explorados, porém fundamentais para a imersão total, estão o paladar e o olfato.

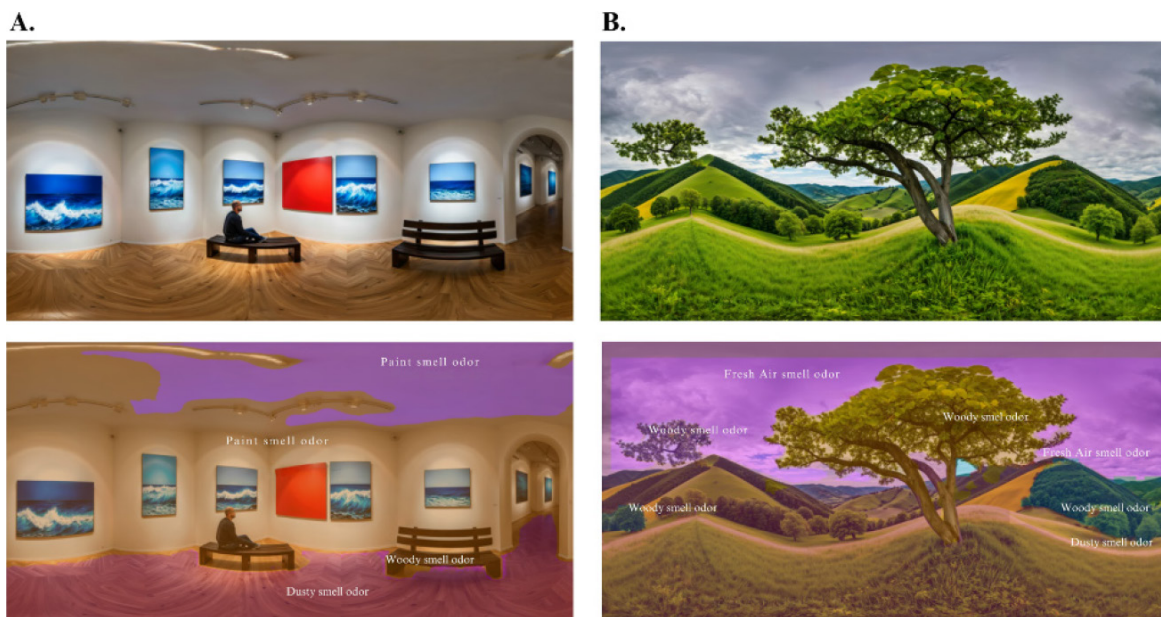
O paladar em ambientes virtuais enfrenta desafios técnicos significativos, já que a reprodução dos sabores requer estímulos químicos que são difíceis de integrar em dispositivos portáteis e seguros para uso cotidiano. A integração de estímulos gustativos em ambientes de realidade imersiva representa um campo em expansão com o potencial de revolucionar a forma como interagimos com o conteúdo e as experiências digitais. As tecnologias multissensoriais estão avançando rapidamente, abrindo novos caminhos para aumentar as experiências no design de alimentos, promovendo hábitos alimentares saudáveis e transformando o marketing sensorial (Velasco, 2018).

O olfato, por sua vez, é um sentido com forte ligação emocional e capacidade de evocar memórias e estados afetivos profundos. Em AVIs, a inclusão do olfato contribui para criar atmosferas realistas e intensificar a imersão, por exemplo, simulando aromas de ambientes naturais, espaços urbanos ou situações específicas, como fogo ou comida (Lin; Liu; Li, 2019). Dispositivos olfativos que liberam fragrâncias controladas em sincronia com o conteúdo virtual possibilitam experiências sensoriais integradas, elevando o nível de presença e envolvimento do usuário. A capacidade do olfato de influenciar o humor e o comportamento torna sua integração especialmente valiosa para aplicações terapêuticas, educacionais e de entretenimento (Rodrigues *et al.*, 2020).

Estratégias que integram Inteligência Artificial (IA) à realidade virtual vêm sendo propostas para aprimorar a entrega e a personalização dos estímulos olfativos em AVIs. Tais abordagens utilizam modelos computacionais capazes de prever e ajustar dinamicamente os perfis olfativos com base em dados contextuais, estímulos visuais e auditivos, e respostas fisiológicas dos usuários. Por meio

de algoritmos de aprendizado de máquina e sistemas de controle sincronizados, torna-se possível criar experiências olfativas mais realistas e responsivas, superando limitações como atraso na liberação dos aromas e baixa precisão na intensidade. Essa integração inteligente tem o potencial de revolucionar áreas como educação sensorial, terapia imersiva e simulações realísticas para treinamento, proporcionando experiências altamente personalizadas e emocionalmente engajadoras (Ferreira *et al.*, 2024).

Figura 4 – Análise e segmentação de imagens panorâmicas de 360° para máscaras olfativas de realidade virtual. A: imagens originais. B: imagens com máscaras e rótulos



Fonte: Silva *et al.*, 2025.

A incorporação da IA na análise sensorial marca um avanço tecnológico significativo, oferecendo uma compreensão profunda da percepção sensorial e das preferências do consumidor (Cosme *et al.*, 2025).

A convergência das tecnologias digitais e da ciência sensorial abriu caminho para experiências inovadoras, incluindo integração de dados biométricos para avaliação da resposta emocional e aplicativos de realidade virtual, aumentada e mista (Fuentes; Tongson; Veijo, 2021).

O desenvolvimento e a integração de tecnologias de simulação de cheiro e sabor apresentam desafios consideráveis de engenharia e percepção. A criação de uma experiência digital vinculada ao paladar requer um profundo entendimento da complexa interação dos receptores de sabor, das vias neurais e dos processos cognitivos que contribuem para a percepção do gosto (Delwiche, 2024). A integração de narizes eletrônicos, línguas eletrônicas e sistemas de visão computadorizada oferece métodos rápidos e confiáveis para avaliar a qualidade dos alimentos, destacando a crescente importância dessas ferramentas no setor de alimentos (Honnen; McLain; Paolini, 2022). Além disso, a influência das diferenças individuais na percepção do sabor, as predisposições genéticas e as experiências anteriores sobre o sabor percebido exigem abordagens personalizadas para a simulação gustativa em ambientes imersivos.

A multissensorialidade, portanto, não apenas amplia a riqueza sensorial dos AVIs, mas também permite uma interação mais natural e profunda do usuário com o ambiente digital. A sinergia entre múltiplos canais sensoriais e a adaptação via biofeedback abre caminho para experiências virtuais altamente personalizadas, que podem ser ajustadas em tempo real para maximizar o bem-estar, o aprendizado ou o desempenho do usuário (Lu; Wang; Zhang, 2020).

SUMÁRIO

AVALIAÇÃO DE EXPERIÊNCIAS DO USUÁRIO EM AMBIENTES VIRTUAIS IMERSIVOS

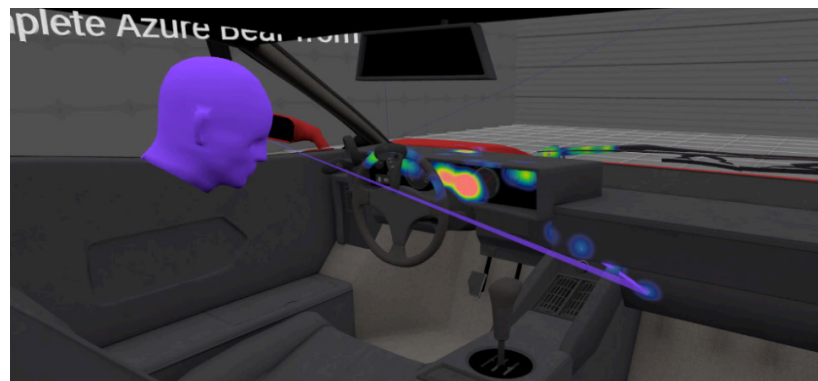
A avaliação da experiência do usuário (User Experience, UX) em AVI consiste no processo sistemático de coleta, análise e interpretação de dados relativos à percepção, ao comportamento e à satisfação dos usuários durante a interação com o ambiente virtual. Esse processo busca compreender como os usuários percebem a imersão, a usabilidade, o conforto, o senso de presença e o engajamento proporcionados pela experiência virtual, identificando aspectos positivos e áreas que necessitam de melhoria (Dimitrov; Dimitrova; Tsankov, 2021).

Avaliar a UX em AVIs é essencial devido à complexidade e à intensidade das interações nesses ambientes, que envolvem múltiplos sentidos e estímulos simultâneos. A avaliação contínua possibilita a adaptação dos ambientes virtuais para diferentes perfis de usuários, promovendo acessibilidade e personalização (Berezina; Gao; Ali, 2021).

A combinação de biofeedback e multissensorialidade oferece uma abordagem inovadora para a avaliação da UX em AVIs. O biofeedback captura em tempo real sinais fisiológicos do usuário (como frequência cardíaca, condutância da pele, atividade cerebral e rastreamento ocular) que refletem o estado emocional e cognitivo do indivíduo, fornecendo dados objetivos para avaliar reações a estímulos virtuais (Schultz; Weisz; Wolters, 2020). Paralelamente, a multissensorialidade amplia a riqueza dos estímulos sensoriais, envolvendo visão, audição, tato, olfato e paladar, possibilitando uma avaliação mais holística das respostas do usuário, que podem ser influenciadas pela integração desses sentidos (Li; Wang; Zhang, 2021).

SUMÁRIO

Figura 5 – Exemplo de uso de biofeedback para avaliação de UX em RV



Fonte: Recamonde-Mendoza; Gárces, 2025.

Ao combinar biofeedback com ambientes virtuais imersivos multissensoriais, é possível detectar, por exemplo, momentos de estresse, fadiga ou desconforto provocados por estímulos sensoriais específicos, bem como avaliar o grau de imersão e presença sentidos pelo usuário. Essa integração viabiliza a criação de sistemas adaptativos que ajustam automaticamente o conteúdo sensorial para otimizar a experiência, tornando a avaliação não apenas um processo passivo de coleta, mas uma ferramenta ativa de melhoria contínua (Kim; Park, 2021). Dessa forma, a avaliação da UX em AVIs supera métodos tradicionais baseados exclusivamente em questionários ou observação comportamental, incorporando métricas fisiológicas e sensoriais que enriquecem a compreensão do impacto da experiência virtual.

Com o avanço das tecnologias de sensores e interfaces sensoriais, a avaliação da experiência do usuário em AVIs com suporte de biofeedback e multissensorialidade tende a se tornar padrão para a criação de ambientes virtuais cada vez mais personalizados, seguros e eficazes, promovendo uma maior satisfação e engajamento dos usuários.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A convergência entre realidade virtual, biofeedback e multissensorialidade representa um avanço significativo na construção de experiências digitais mais envolventes, responsivas e centradas no usuário. Este capítulo demonstrou como a integração de sinais fisiológicos e múltiplos estímulos sensoriais pode transformar a forma como interagimos com ambientes virtuais, proporcionando não apenas entretenimento, mas também benefícios em contextos como saúde, educação e treinamento profissional.

O uso de biofeedback em AVIs permite um monitoramento contínuo do estado físico, emocional e cognitivo do usuário, oferecendo dados objetivos que fundamentam a adaptação em tempo real do ambiente virtual. Métricas como HRV, GSR, EMG e EEG, associadas a tecnologias como *smartwatches* e rastreamento ocular, possibilitam ajustar estímulos, detectar fadiga, reduzir estresse e promover maior conforto durante a experiência. A personalização dinâmica se torna, assim, um elemento essencial para aumentar o engajamento e a efetividade dos AVIs.

A multissensorialidade, por sua vez, amplia o repertório perceptivo das experiências virtuais, ao incorporar sentidos frequentemente negligenciados, como o olfato e o paladar. A pesquisa e o desenvolvimento de dispositivos e modelos computacionais para a entrega precisa desses estímulos, aliados à inteligência artificial, abrem novas possibilidades para a criação de experiências altamente imersivas e emocionalmente significativas. A simulação sensorial personalizada, adaptada às reações fisiológicas dos usuários, pode gerar impactos positivos em aplicações terapêuticas, educativas e comerciais.

Diante desse cenário, fica evidente que a combinação entre biofeedback e multissensorialidade não apenas enriquece a avaliação da experiência do usuário em AVIs, mas inaugura um novo

paradigma de interação digital, mais adaptativo, sensível e humano. Futuras pesquisas devem aprofundar o desenvolvimento de sistemas inteligentes capazes de interpretar e responder em tempo real aos estados internos dos usuários, promovendo experiências mais éticas, seguras e eficazes em ambientes virtuais imersivos.

REFERÊNCIAS

AZUMA, R. T. A survey of augmented reality. **Presence: Teleoperators & Virtual Environments**, v. 6, n. 4, p. 355-385, 1997.

BALL, M. **The Metaverse**: and how it will revolutionize everything. New York: Liveright Publishing, 2022.

BEREZINA, K.; GAO, Y.; ALI, F. User experience evaluation in virtual environments: a systematic review. **Computers in Human Behavior**, v. 115, p. 106604, 2021.

BERKA, C. *et al.* EEG correlates of task engagement and mental workload in vigilance, learning, and memory tasks. **Aviation, Space, and Environmental Medicine**, v. 78, n. 5, p. B231-B244, 2007.

BRADLEY, M. M. *et al.* The pupil as a measure of emotional arousal and autonomic activation. **Psychophysiology**, v. 45, n. 4, p. 602-607, 2008. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1469-8986.2008.00654.x>. Acesso em: 22 jul. 2025.

COSME, F. *et al.* Innovative approaches in sensory food Science: from digital tools to virtual reality. **Applied Sciences**, v. 15, n. 8, 2025.

CRITCHLEY, H. D. Electrodermal responses: what happens in the brain. **The Neuroscientist**, v. 8, n. 2, p. 132-142, 2002. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/107385840200800209>. Acesso em: 22 jul. 2025.

CUMMINS, N.; SCHULLER, B. Five Crucial Challenges in Digital Health. **Frontiers in Digital Health**, v. 2, p. 1-8, 2020.

DELWICHE, J. The impact of perceptual interactions on perceived flavor. **Food Quality and Preference**, v. 15, n. 2, p. 137-146, 2004.

SUMÁRIO

DIMITROV, G.; DIMITROVA, M.; TSANKOV, P. Multisensory VR systems enhanced by biofeedback: Toward personalized immersive experiences. **Computers & Graphics**, v. 99, p. 142-153, 2021.

FERREIRA, Y. T. S. *et al.* An AI and virtual reality-based computational model to simulate olfactory responses: proposing a research strategy. *In*: SIMPÓSIO DE REALIDADE VIRTUAL E AUMENTADA (SVR), 2024, Salvador. **Anais** [...]. Salvador: SBC, 2024.

FREEMAN, J. *et al.* Virtual reality in the assessment, understanding, and treatment of mental health disorders. **Psychological Medicine**, v. 47, n. 14, p. 2393-2400, 2017.

FREINA, L.; OTT, M. A literature review on immersive virtual reality in education: State of the art and perspectives. *In*: THE INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE ELEARNING AND SOFTWARE FOR EDUCATION, Bucharest, 2015. **Anais** [...]. Bucharest: Carol I National Defence University, 2015. p. 133-141.

FUENTES, S.; TONGSON, E.; VIEJO, C. G. Novel digital technologies implemented in sensory Science and consumer perception. **Current Opinion in Food Science**, v. 41, p. 99-106, 2021.

HONNEN, L.; MCLAIN, E.; PAOLINI, M. Olfactory interfaces in virtual reality: Systematic review and future perspectives. **Frontiers in Virtual Reality**, v. 3, p. 664081, 2022.

JERALD, J. **The VR Book**: Human-Centered Design for Virtual Reality. [S. l.]: Association for Computing Machinery and Morgan & Claypool, 2015.

KHAN, M. Q.; MUXTY, H. Real-time biofeedback in virtual reality: a review of current technologies and future directions. **IEEE Access**, v. 8, p. 186801-186817, 2020.

KOSMALLA, F. *et al.* Towards adaptive immersive systems: a systematic review on the use of physiological computing in virtual reality. **International Journal of Human-Computer Studies**, v. 165, p. 102862, 2022.

KIM, S.; PARK, H. Multisensory interactions in virtual reality: Implications for user experience and presence. **Frontiers in Psychology**, v. 12, p. 646120, 2021.

KOBER, S. E.; NEUPER, C. Using auditory event-related EEG potentials to assess presence in virtual reality. **International Journal of Human-Computer Studies**, v. 70, n. 9, p. 577-587, 2012. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1071581912000638?via%3Dihub>. Acesso em: 22 jul. 2025.

LA VALLE, S. M. **Virtual Reality**. Cambridge: Cambridge University Press, 2017.

SUMÁRIO

LEE, K.; WONG, P. C.; LEE, S. Applications of Virtual Reality in Industry: a Review. **Applied Sciences**, v. 13, n. 4, p. 2171, 2023.

LI, X.; WANG, J.; ZHANG, Y. Integrating biofeedback for real-time adaptive VR systems: a review and framework. **IEEE Access**, v. 9, p. 45672-45685, 2021.

LIN, J.; LIU, B.; LI, W. Multisensory integration and interaction in virtual reality: a review. **Virtual Reality**, v. 23, p. 1-18, 2019.

LU, Z.; WANG, X.; ZHANG, L. The impact of olfactory stimulation on mood and cognition in virtual reality environments. **Neuroscience Letters**, v. 727, p. 134994, 2020.

MIGUEZ, R. *et al.* Virtual reality and biofeedback for automotive experience assessment in Industry 5.0. *In*: CONFERENCE ON HUMAN FACTORS IN COMPUTING SYSTEMS (CHI), 2024, Salvador. **Anais [...]**. Salvador: SENAI CIMATEC, 2024.

MIGUEZ, R. *et al.* Eye tracking and immersive environments: analysing the automotive experience. *In*: SIMPÓSIO DE REALIDADE VIRTUAL E AUMENTADA (SVR), 2025, Salvador. **Anais [...]**. Salvador: SENAI CIMATEC, 2025.

MILGRAM, P.; KISHINO, F. A taxonomy of mixed reality visual displays. **IEICE Transactions on Information and Systems**, v. 77, n. 12, p. 1321-1329, 1994.

OPENAI. Usuário interagindo na Realidade Virtual (ChatGPT/DALL-E). 2025. Imagem digital. Disponível em: <https://chat.openai.com/>

PALLAVICINI, F.; MANTOVANI, F. Virtual reality applications for stress management training in the military. **Aerospace Medicine and Human Performance**, v. 88, n. 9, p. 841-845, 2017.

PARISI, D. **Human-Centered AI: Building Multisensory Experiences in Extended Reality**. Cambridge: MIT Press, 2022.

PARSONS, T. D.; RIZZO, A. A. Affective outcomes of virtual reality exposure therapy for anxiety and specific phobias: A meta-analysis. **Journal of Behavior Therapy and Experimental Psychiatry**, v. 39, n. 3, p. 250-261, 2008. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0005791607000456?via%3Dihub>. Acesso em: 22 jul. 2025.

RECAMONDE-MENDOZA, M.; GARCÉS, L. (ed.). **Minicursos do XXV Simpósio Brasileiro de Computação Aplicada à Saúde**. Porto Alegre: SBC, 2025. Disponível em: <https://books-sol.sbc.org.br/index.php/sbc/catalog/book/167>. Acesso em: 22 jul. 2025.

SUMÁRIO

REPETTO, C.; RIVA, G. From virtual body to virtual mind: Virtual reality as embodied technology. **Journal of CyberTherapy and Rehabilitation**, v. 4, n. 1, p. 17-37, 2011.

RODRIGUES, R. *et al.* Real-time biofeedback for adaptive virtual environments: a review. **IEEE Transactions on Human-Machine Systems**, v. 50, n. 4, p. 293-305, 2020.

SCHULTZ, T.; WEISZ, N.; WOLTERS, C. The role of user-centered design in immersive virtual reality applications. **International Journal of Human-Computer Studies**, v. 142, p. 102458, 2020.

SILVA, M. F. B. da. *et al.* SOFIA: Advancements in olfactory stimuli in virtual reality for immersive multisensory experiences and potential applications in the Industry 5.0. *In: IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND EXTENDED AND VIRTUAL REALITY (AIxVR)*, 2025. Piscataway, NJ: IEEE, 2025. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10896179>. Acesso em: 22 jul. 2025.

SLATER, M.; SANCHEZ-VIVES, M. V. Enhancing our lives with immersive virtual reality. **Frontiers in Robotics and AI**, v. 3, p. 1-47, 2016.

TASSINARY, L. G. *et al.* (ed.). **Handbook of Psychophysiology**. 3. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2007. p. 267-299.

VELASCO, C. *et al.* Multisensory technology for flavor augmentation: a mini review. **Frontiers in Psychology**, v. 9, 2018.

VILLANI, D. *et al.* Technological augmentation of mindfulness: an experimental study using virtual reality and biofeedback. **Frontiers in Psychology**, v. 11, p. 161, 2020.

WIEDERHOLD, B. K.; WIEDERHOLD, M. D. **Virtual Reality Therapy for Anxiety Disorders: Advances in Evaluation and Treatment**. Washington, DC: American Psychological Association, 2005.

WIEDERHOLD, B. K. *et al.* Therapeutic applications of virtual reality in clinical practice. **Behavioral Sciences**, v. 11, n. 6, p. 75, 2021.

2

*João Augusto Coelho Chagas
José Alberto Díaz Amado
Crescencio Rodrigues
Cleia Santos Libarino
João Soares*

PROCESSO IMERSIVO DE TREINAMENTO COM UNREAL ENGINE: IMPRESSORAS 3D

SUMÁRIO

RESUMO:

Este capítulo apresenta a criação de um programa de treinamento imersivo usando o Unreal Engine, projetado especificamente para a operação de impressoras 3D. O projeto se concentra na impressora Neptune 3 Pro e usa simulações interativas para guiar os usuários por suas principais funcionalidades em um ambiente virtual. O treinamento integra metodologias como User Experience (UX) e Design Thinking, garantindo uma abordagem centrada no usuário para melhorar o processo educacional. A experiência imersiva fornece habilidades e conhecimentos práticos sem a necessidade de equipamentos físicos, reduzindo riscos e custos. Os testes iniciais demonstram o potencial da Realidade Virtual (RV) em aumentar o engajamento e a retenção, tornando-a uma ferramenta valiosa para treinamento técnico em manufatura aditiva.

INTRODUÇÃO

No contexto do desenvolvimento de pesquisas que demandam tecnologias de prototipagem, o uso de recursos como Manufatura Aditiva (AM) tem se tornado cada vez mais comum (Mathur, 2024). No entanto, muitos estudantes, especialmente aqueles que ainda não tiveram contato prático com equipamentos mais sofisticados, enfrentam dificuldades e dúvidas para operar essas máquinas. A impressora 3D de Modelagem por Deposição Fundida (FDM) é um exemplo de ferramenta de baixo custo, acessível para laboratórios, porém apresenta um desafio para aqueles que temem danificar o equipamento ou não compreendem completamente suas funcionalidades (Kristiawan *et al.*, 2021).

Diante dessa realidade, este capítulo apresenta o desenvolvimento de um treinamento imersivo em Realidade Virtual (VR), utilizando a Unreal Engine (Unreal [...], c2025), com o objetivo de familiarizar os estudantes ao uso da impressora 3D no ambiente seguro e interativo da realidade virtual. A proposta do treinamento é ajudar os alunos a se habituarem ao equipamento, permitindo que pratiquem em um ambiente simulado antes de manipularem a máquina real. Isso não apenas aumenta a confiança dos usuários, como também melhora a eficiência dos processos produtivos dentro do grupo de pesquisa (Mathur, 2024).

Combinando metodologias de User Experience (UX) e Design Thinking, o treinamento ocorre em um ambiente virtual que se baseia na planta de um laboratório, com implementação de interfaces gráficas dispostas para tornar a experiência mais intuitiva, o que, por sua vez, facilita o aprendizado, permitindo que os usuários compreendam as funções reais da impressora 3D de forma prática e interativa (Reyes *et al.*, 2023). Além disso, a aplicação da VR no ambiente educacional proporciona uma experiência de aprendizado acessível e de baixo risco, reduzindo a necessidade de treinamentos presenciais extensivos e evitando possíveis danos ao equipamento.

O treinamento imersivo voltado para a operação da impressora 3D modelo Neptune 3 Pro da Elegoo® seguiu um processo estruturado, com a aplicação de metodologias de design centrado no usuário e no uso de tecnologias de modelagem e realidade virtual. O objetivo principal foi criar um ambiente virtual interativo que proporcionasse aos estudantes uma experiência prática e segura, facilitando o aprendizado e a familiarização com o equipamento sem o risco de danificá-lo. O processo de desenvolvimento passou por diversas etapas, desde a identificação das necessidades dos usuários até a integração final na Unreal Engine.

- A.** Identificação da necessidade de familiarização com a tecnologia:
- O treinamento foi desenvolvido para ajudar os estudantes a se familiarizar com o uso da impressora 3D em um ambiente virtual, reduzindo o risco de danificar o equipamento real (Kukshinov *et al.*, 2024; Mathur, 2024).
- B.** Uso de metodologias de design centrado no usuário:
- O projeto aplicou o modelo Lean UX, realizado estudo de caso para compreender a dor do usuário e propor soluções compatíveis com a necessidade real (Reyes *et al.*, 2023; Mai; Fels, 2023).
- C.** Modelagem dos cenários em 3D:
- Para criar o ambiente virtual do treinamento, foram utilizados os softwares Onshape, Blender e SketchUp para modelagem 3D dos componentes e cenários, permitindo uma recriação próxima da impressora e do ambiente de uso (Kristiawan *et al.*, 2021; Onshape, c2014; Blender, c2025).
 - Integração na Unreal Engine: o ambiente virtual foi desenvolvido e integrado na Unreal Engine, fator que possibilitou a criação de uma experiência imersiva e interativa, permitindo aos usuários manipular a impressora 3D e realizar tarefas no ambiente virtual (Kristiawan *et al.*, 2021; Mogessie *et al.*, 2020).

SUMÁRIO

- D. Desenvolvimento de um sistema de tutor inteligente:
 - a. Durante o treinamento, o usuário recebe feedback em tempo real por meio de um tutor inteligente, baseado em um sistema de instrução interativa, que orienta durante as tarefas (Mogessie *et al.*, 2020).
- E. Avaliação e ajustes:
 - a. O MVP foi testado com foco na usabilidade e na atenção dos usuários durante a interação com o ambiente virtual. Os resultados dos testes indicaram áreas de melhoria, levando a ajustes que otimizaram a interface e aprimoraram a experiência de uso (Reyes *et al.*, 2023).

METODOLOGIA

O processo de desenvolvimento do treinamento imersivo para a operação da impressora 3D Neptune 3 Pro foi estruturado utilizando diversas ferramentas e técnicas de design centrado no usuário e na modelagem 3D. O fluxo metodológico pode ser compreendido nas etapas descritas a seguir.

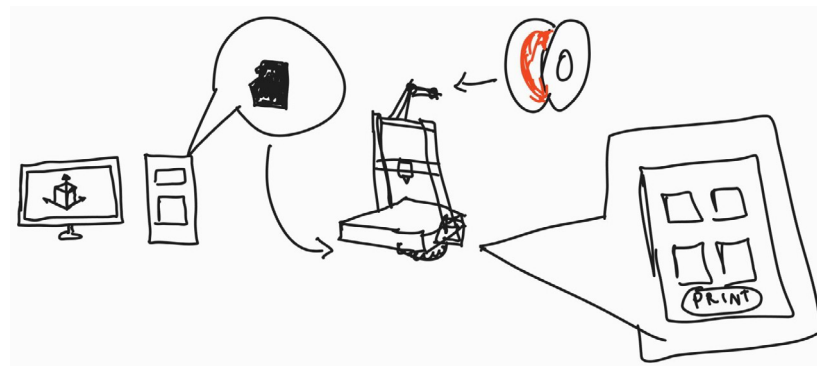
1. Jornada do usuário e mapeamento de problemas

Um estudo de caso foi conduzido para identificar a dor do usuário; assim, descobriu-se que, no grupo de pesquisa, a falta de familiaridade dos estudantes com a impressora 3D e o receio de danificar o equipamento limitavam o uso do material.

O mapeamento inicial foi realizado no FigmaJam Board (Figma, c2025), onde a jornada do usuário foi traçada para identificar as principais dificuldades dos estudantes ao utilizar a impressora 3D. A análise focou no entendimento do que os alunos precisavam para operar a máquina e no processo envolvido, desde o design para manufatura aditiva (DfAM) até a seleção do material para a extrusão e a seleção do arquivo na impressora (Mathur, 2024).

SUMÁRIO

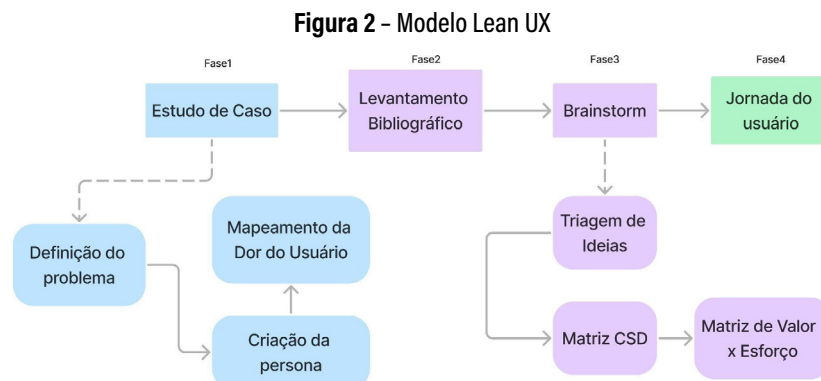
Figura 1 – Esboço do processo de impressão



Fonte: elaborado pelo autor, 2024.

A equipe fez uma análise de publicações acadêmicas sobre o uso de tecnologias imersivas no treinamento de equipamentos de manufatura aditiva, como impressoras 3D (Kristiawan *et al.*, 2021; Mogessie *et al.*, 2020; Mathur, 2024). Isso ajudou a embasar o desenvolvimento do treinamento e as estratégias adotadas. Com base nas informações coletadas, foi realizado um *brainstorming* de soluções que pudessem ser aplicadas ao cenário do laboratório de pesquisa. As ideias foram debatidas em equipe, considerando aspectos práticos e pedagógicos (Reyes *et al.*, 2023).

Com base nas necessidades dos usuários (estudantes de um laboratório de pesquisa), foi criada uma persona representativa, que ajudou a nortear as decisões de design. Para filtrar e priorizar as ideias geradas coletivamente, utilizaram-se ferramentas como a matriz CSD (Certezas, Suposições e Dúvidas) e a matriz de Valor x Esforço, que ajudaram a alinhar a solução proposta com as necessidades reais dos usuários.

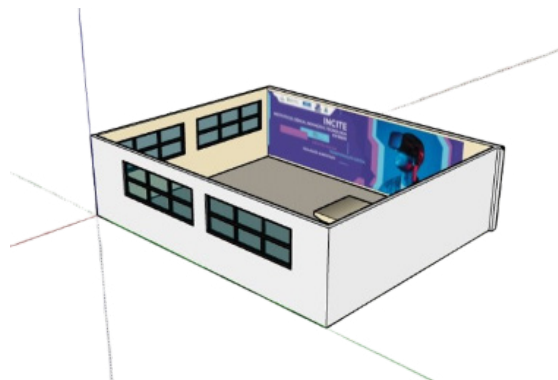


Fonte: elaborado pelo autor, 2024.

2. Design do cenário e modelagem 3D

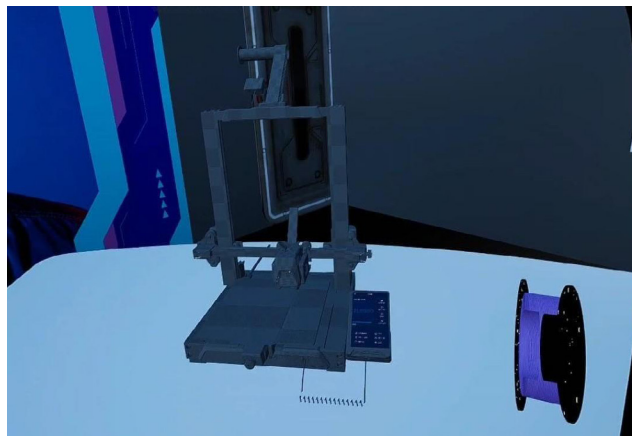
O modelo do cenário foi desenvolvido utilizando o software SketchUp, baseado na planta do laboratório real, porém alguns elementos não foram acrescentados ao cenário em virtude de trazer o foco ao treinamento. Já objetos menores e com mais detalhes foram modelados no Onshape e no Blender para garantir precisão e realismo nas interações (Onshape, c2014; Blender, c2025). A impressora 3D Neptune 3 Pro foi recriada virtualmente, permitindo uma interação direta com seus componentes.

Figura 3 – Modelo 3D do laboratório



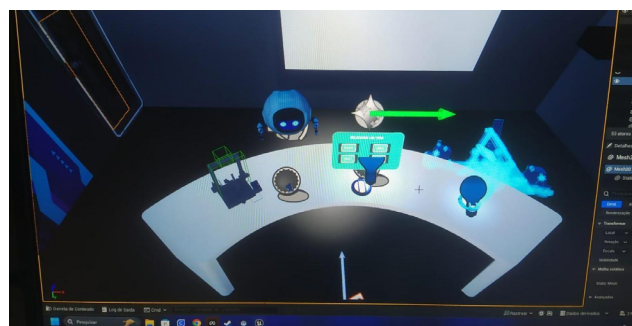
Fonte: elaborado pelo autor, 2024.

SUMÁRIO

Figura 4 – Modelo 3D da impressora 3D Neptune 3 Pro

Fonte: elaborado pelo autor, 2024.

Após a modelagem, o cenário foi construído dentro da Unreal Engine, onde as fases do treinamento foram estruturadas. A Engine permitiu a criação de um ambiente interativo, onde os usuários poderiam explorar a impressora e suas funcionalidades.

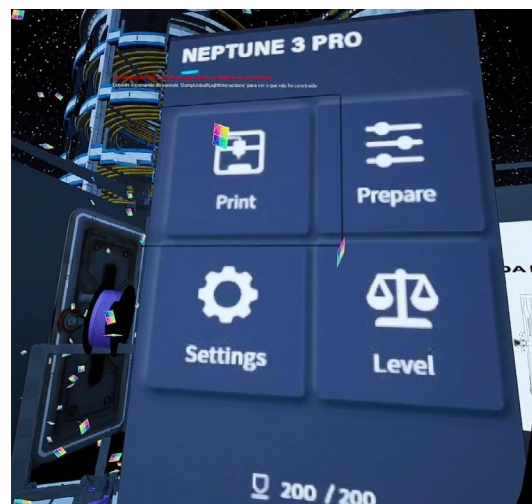
Figura 5 – Modelo 3D do laboratório na Unreal Engine

Fonte: elaborado pelo autor, 2024.

3. Desenvolvimento de fases e feedback

- **Criação das fases:** o treinamento foi estruturado nos seguintes princípios:
 1. **Explicação do funcionamento da impressora:** nessa etapa, os usuários aprendem sobre a função de cada parte que compõe as operações básicas da impressora.
 2. **Fatiamento e impressão da peça:** o segundo princípio é orientar os usuários no processo de fatiar um modelo 3D e iniciar a impressão da peça, simulando todo o processo em VR (Mathur, 2024).
- **Sistema de feedback:** um sistema de feedback em tempo real foi implementado, permitindo que os usuários percebessem seu progresso durante o treinamento, por meio de estímulos auditivos e visuais como áudios e cores. Isso permite manter o engajamento do usuário e garantir que as tarefas sejam completadas com sucesso (Luo *et al.*, 2020).

Figura 6 – UI da impressora e confetes após conclusão de tarefa



Fonte: elaborado pelo autor, 2024.

4. Testes e refinamento

- **Lapidação do MVP:** após o desenvolvimento do Produto Mínimo Viável (MVP), foram realizados testes focados na experiência do usuário, observando a atenção e o engajamento durante o uso do treinamento. Com base nos resultados, ajustes foram feitos para melhorar a interface e o fluxo de atividades.

Quadro 1 – Testes e refinamentos do MVP

Critério avaliado	Observações dos testes	Ajustes implementados
Usabilidade da Interface	Dificuldades na navegação e no entendimento de algumas funcionalidades.	Simplificação da navegação e melhoria nos ícones e no feedback visual.
Atenção do Usuário	Perda de foco em algumas etapas do treinamento.	Inserção de feedbacks visuais e auditivos para manter o usuário engajado.
Ergonomia e Controles	Problemas na familiarização com os controles do joystick.	Inclusão de uma fase tutorial para ensinar o uso dos controles.
Performance do Sistema	Pequenos atrasos durante o carregamento de modelos 3D.	Otimização do tempo de carregamento e redução do tamanho de arquivos 3D.
Engajamento do Usuário	Usuários relatam falta de motivação ao completar etapas.	Adição de elementos de gamificação, como progresso e recompensas.

Fonte: elaborado pelo autor, 2024.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Devido à necessidade de aprovação pelo Comitê de Ética para a realização de testes com participantes humanos, o MVP do treinamento imersivo foi avaliado internamente, com foco no desempenho técnico e na usabilidade do sistema. A avaliação preliminar utilizou simulações e análise dos próprios desenvolvedores para identificar possíveis melhorias na interface e na interação com o ambiente virtual.

DESEMPENHO TÉCNICO E OTIMIZAÇÃO

Durante o desenvolvimento, foram observados pequenos atrasos no carregamento de modelos 3D, especialmente em cenas mais complexas. Isso levou à implementação de melhorias para otimizar o tempo de carregamento e reduzir o tamanho dos arquivos 3D sem comprometer a qualidade visual do treinamento.

USABILIDADE E INTERATIVIDADE

A usabilidade foi analisada com base em simulações internas, focando na facilidade de navegação, na interação com a impressora virtual e na compreensão das tarefas. Para melhorar a familiarização dos usuários com os controles do joystick, foi implementada uma fase tutorial de orientação ao usuário sobre como interagir com o ambiente por meio dos controles manuais.

CONSIDERAÇÕES DE TESTES FUTURAMENTE

Os testes formais com estudantes e participantes do grupo de pesquisa serão realizados após a aprovação do Comitê de Ética. Eles buscarão validar as melhorias de usabilidade, engajamento e retenção de conhecimento, fornecendo dados quantitativos e qualitativos para futuros refinamentos.

CONCLUSÃO

Este capítulo apresentou o desenvolvimento de um treinamento imersivo utilizando a Unreal Engine, focado na operação da impressora 3D Neptune 3 Pro. A experiência virtual foi projetada

para proporcionar aos estudantes do laboratório de pesquisa uma oportunidade de se familiarizar com a tecnologia de forma segura e interativa. Os resultados preliminares sugerem que o uso de realidade virtual é uma abordagem promissora para a educação técnica, especialmente em áreas que envolvem equipamentos complexos.

Entretanto, a pesquisa enfrentou limitações, como a ausência de um estudo formal com participantes humanos devido à necessidade de aprovação do Comitê de Ética. Este limite destaca a importância de conduzir avaliações mais rigorosas no futuro, que incluam uma amostra ampla de usuários. Assim, novas implementações devem priorizar a obtenção dessa aprovação ética, permitindo a coleta de dados quantitativos e qualitativos que possam validar a eficácia do treinamento.

Ademais, o desenvolvimento adicional do treinamento pode incluir a integração de cenários de resolução de problemas e a possível adição de aspectos de gamificação que aumentem a interatividade dos usuários com a plataforma. Ao considerar esses fatores, o projeto pode não só melhorar a qualidade do aprendizado, mas também expandir a utilização de tecnologias imersivas em educação técnica. Em geral, o uso de realidade virtual na prática relativa à impressora 3D é uma inovação vital que pode transformar a experiência de aprendizado dos alunos e sua interface com tecnologias emergentes, tornando-os mais bem preparados para os desafios que o futuro trará na indústria da manufatura aditiva.

REFERÊNCIAS

BLENDER. Página inicial, c2025. Disponível em: <https://www.blender.org/>. Acesso em: 21 jul. 2025.

ELEGOO. **ELEGOO NEPTUNE 3 PRO FDM 3D PRINTER 225X225X280MM**. Disponível em: <https://us.elegoo.com/products/elegoo-neptune-3-pro-fdm-3d-printer-225x225x280mm>. Acesso em: 20 out. 2024.

FIGMA. Página inicial, c2025. Disponível em: <https://www.figma.com/>. Acesso em: 20 out. 2024.

SUMÁRIO

KRISTIAWAN, R. B. *et al.* A review on the fused deposition modeling (FDM) 3d printing: Filament processing, materials, and printing parameters. **Open Engineering**, v. 11, p. 639-649, 2021. Disponível em: <https://www.degruyterbrill.com/document/doi/10.1515/eng-2021-0063/html>. Acesso em: 23 jul. 2025.

KUKSHINOV, E. *et al.* Disembodied, asocial, and unreal: how users (re)interpret designed affordances of social VR. *In*: DESIGNING INTERACTIVE SYSTEM CONFERENCE. 2024. Nova York. **Anais** [...]. Nova York: Association for Computing Machinery, 2024. p. 1914-1925.

LUO, J. *et al.* Evaluating the Effects of Interaction Techniques in VR Training for Conveyor Belt Assembly. *In*: CONFERENCE ON VIRTUAL REALITY AND 3D USER INTERFACES (VR), 2020, Atlanta. **Anais** [...]. Atlanta: IEEE, 2020. p. 593-602.

MAI, S. A.; FELS, D. I. The creation and use of captions in live performances to help engage children with ADHD. *In*: CONFERENCE ON COMPUTERS AND ACCESSIBILITY, 25, 2023. **Anais** [...]. 2023. p. 1-9, 2023.

MATHUR, J. **The role of immersive virtual reality in developing design and process intuition for additive manufacturing**. 2024. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Pennsylvania State University, 2024. Disponível em: <https://etda.libraries.psu.edu/catalog/26909jmm8886>. Acesso em: 20 out. 2024.

MOGESSIE, M. *et al.* Work-in-Progress—A Generalizable Virtual Reality Training and Intelligent Tutor for Additive Manufacturing. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE OF THE IMMERSIVE LEARNING RESEARCH NETWORK (ILRN), 6, 2020, São Luis Obispo. **Anais** [...]. São Luis Obispo: IEE, 2020. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9155119>. Acesso em: 27 out. 2024.

ONSHAPE. Página inicial, c2014. Disponível em: <https://www.onshape.com/en/>. Acesso em: 20 out. 2024.

REYES, H. C. *et al.* A lean UX process model for virtual reality environments considering ADHD in pupils at elementary school in Covid-19 contingency. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE ON VIRTUAL WORLDS AND GAMES FOR SERIOUS APPLICATIONS (VS-GAMES 2023), 15, 2023. **Anais** [...]. 2023. p. 1-8.

SKETCHUP. Página inicial, c2025. Disponível em: <https://sketchup.trimble.com/en>. Acesso em: 21 jul. 2025.

UNREAL Engine 5.5 Documentation. **Unreal Engine**, c2025. Disponível em: <https://dev.epicgames.com/documentation/en-us/unreal-engine/unreal-engine-5-6-documentation>. Acesso em: 20 jul. 2025.

3

*Elisrenan Barbosa da Silva
Edilene Carvalho da Paixão
Mariano Florêncio Mendonça
Luiz Felipe Cirqueira dos Santos*

ARQUITETURA CLOUD AWS COM FOCO EM SOFTWARE SERVERLESS

SUMÁRIO

RESUMO:

Este capítulo explora o desenvolvimento e a implantação de uma aplicação web serverless utilizando **FastAPI** para o backend e **Vue.js** para o frontend, com a infraestrutura fornecida pela **Amazon Web Services (AWS)**. A aplicação é estruturada para se beneficiar dos principais serviços da AWS, como **Lambda**, **DynamoDB**, **Cognito** e **CloudFront**, em uma arquitetura que maximiza a escalabilidade e minimiza o esforço de gerenciamento de infraestrutura. O capítulo também cobre a configuração de um pipeline CI/CD com **GitHub Actions** e o **Serverless Framework**, permitindo uma implantação automatizada e eficiente. Essa abordagem completa permite o desenvolvimento em ritmo acelerado, reduzindo o tempo para colocar aplicações web em produção.

INTRODUÇÃO

Hoje em dia, há uma enorme variedade de escolhas para se fazer ao construir um aplicativo web. Desde a seleção do framework backend até a escolha da biblioteca de testes e tecnologias de implantação, cada decisão pode impactar diretamente o sucesso do projeto. E, claro, tantas opções podem tornar o processo bastante desafiador, especialmente para quem deseja criar uma solução moderna e escalável.

Devo usar FastAPI ou Flask? E quanto ao frontend, será que Vue, React ou Angular é o mais adequado? Qual banco de dados é ideal para o meu caso — SQL ou NoSQL? E ao considerar a implantação em nuvem, como AWS, será que isso vai aumentar muito os custos? Como garantir a escalabilidade do aplicativo e automatizar a implantação de maneira eficiente?

Se você busca construir aplicações modernas, escaláveis e altamente eficientes na AWS, este capítulo foi feito para você. Ao longo do conteúdo, você aprenderá a:

- criar APIs serverless com FastAPI executadas no AWS Lambda;
- implantar o backend FastAPI no AWS Lambda com CI/CD usando GitHub Actions e Serverless Framework;
- monitorar e configurar alertas para seus aplicativos utilizando o CloudWatch.

Este capítulo traz um guia completo para que você desenvolva um aplicativo full-stack serverless com FastAPI e Vue.js na AWS, permitindo que suas ideias se transformem em aplicações rápidas, seguras e facilmente escaláveis. Além disso, você aprenderá a configurar pipelines CI/CD para automatizar o desenvolvimento e a implantação de infraestrutura e código, reduzindo custos e mantendo a flexibilidade do projeto. Assim, você terá tudo que precisa

para tirar seu projeto do papel e colocá-lo em produção usando as ferramentas mais modernas e eficazes da AWS, incluindo Lambda, S3, CloudFront, Cognito e muito mais.

Vamos juntos explorar como desenvolver de maneira eficiente e como transformar a criação de aplicações serverless em uma prática essencial para quem busca inovação e crescimento ágil na era digital.

TEMA ABORDADO

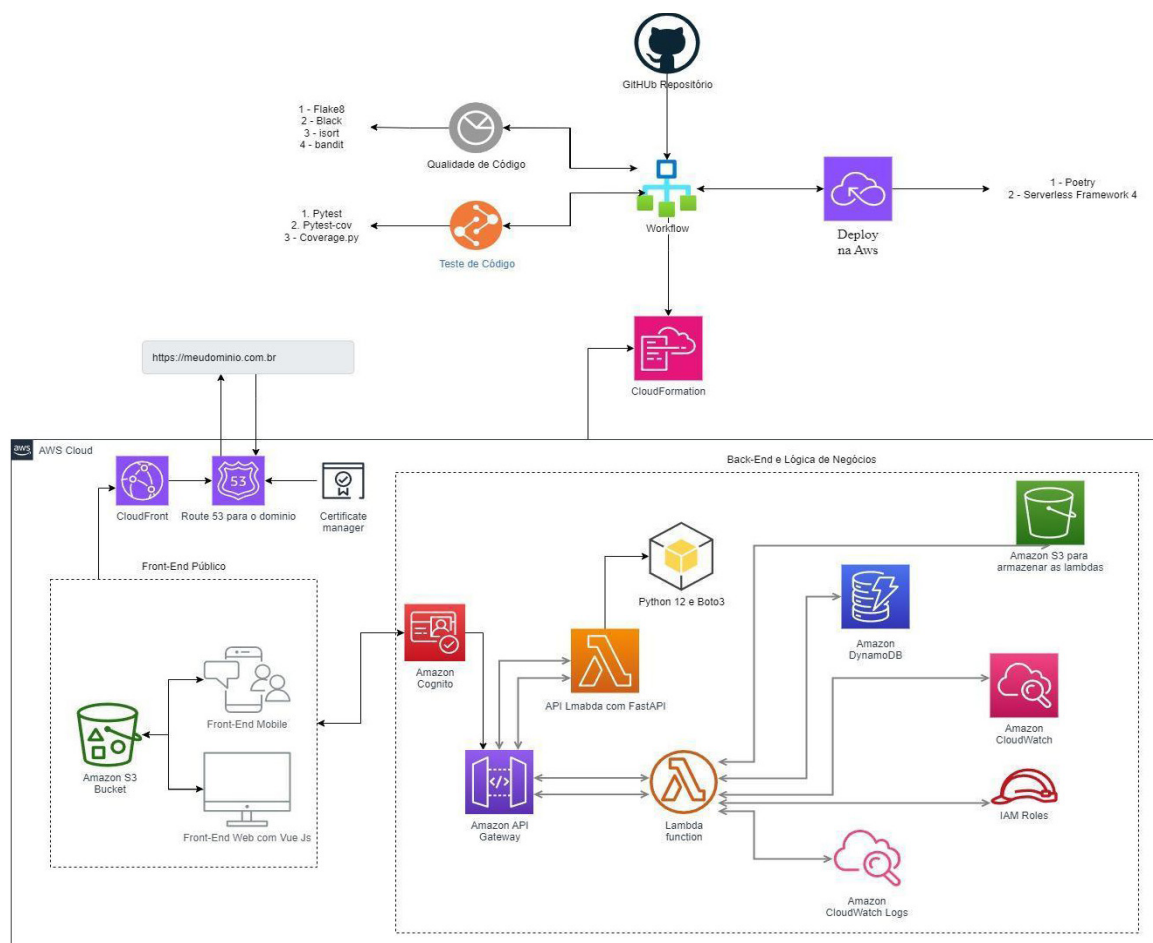
O desenvolvimento de aplicações serverless se tornou fundamental para equipes que buscam crescer de forma ágil, reduzir custos operacionais e simplificar a gestão da infraestrutura. Este capítulo apresenta um guia passo a passo para a criação de uma aplicação full-stack utilizando uma combinação de FastAPI no backend e Vue.js no frontend, totalmente gerenciada pela AWS.

Nossa arquitetura serverless permite a construção de aplicações rápidas, seguras e escaláveis. O backend, desenvolvido com FastAPI, é executado no AWS Lambda, enquanto o frontend, criado com Vue.js, é hospedado no Amazon S3 e distribuído globalmente através do Amazon CloudFront. A autenticação é gerenciada pelo AWS Cognito, assegurando que os usuários possam acessar o sistema de forma segura e personalizada.

Para uma implantação ágil e consistente, o projeto incorpora um pipeline CI/CD automatizado com GitHub Actions e Serverless Framework. Essa combinação facilita a criação e a configuração de recursos AWS, permite o monitoramento contínuo e mantém o sistema sempre pronto para atender à demanda dos usuários. Ao final, você terá uma aplicação robusta e totalmente integrada, pronta para ser escalada conforme as necessidades do negócio.

Este capítulo oferece uma visão prática e estratégica sobre o desenvolvimento serverless na AWS, abordando desde a escolha das tecnologias até a configuração final da infraestrutura e do monitoramento do sistema. Para isso, utilizaremos a arquitetura descrita na Figura 1.

Figura 1 - Nosso diagrama de arquitetura cloud utilizada



Fonte: elaborado pelo autor, 2024.

CONFIGURAÇÃO INICIAL

Para configurar um novo projeto serverless, comece produzindo o diretório do projeto e iniciando um repositório Git. Crie uma pasta chamada “my_api_aws”; navegue até ela e execute o comando `git init` para inicializar o repositório. Em seguida, adicione um arquivo `.gitignore` com o modelo para projetos Python, incluindo também o diretório `.serverless` relacionado ao framework serverless. Adicione o `.gitignore` ao Git e faça seu primeiro commit, garantindo que arquivos indesejados não sejam versionados. Para integrar com o GitHub, crie uma conta (se ainda não tiver) e adicione uma chave SSH à sua conta. Faça um repositório no GitHub chamado “my_api_aws”, copie o URL SSH e adicione-o como remoto ao seu projeto local. Finalize enviando o código ao GitHub com `git push -u origin main`, substituindo <seu-nome-de-usuário-github> pelo seu nome de usuário.

ESTRUTURA DO REPOSITÓRIO

Ao desenvolver um software full-stack de alta qualidade, é crucial ter uma estrutura de repositório que facilite a organização e o gerenciamento de diversas partes do projeto. Proponho a seguinte estruturação de pastas:

- **.github:** aqui, configuraremos nosso pipeline de CI/CD, geralmente por meio de arquivos YAML armazenados em `.github/workflows`.
- **infraestrutura:** armazenará os arquivos de configuração para as ferramentas de infraestrutura como código (IaC) escolhidas, tipicamente em formatos YAML, JSON ou HCL.
- **serviços:** esta pasta conterá qualquer aplicação de longa duração ou interativa, como um aplicativo Django monolítico, uma UI em Vue ou APIs de microsserviços.

Ao final desta seção, você terá configurado um novo repositório Git para seu projeto e adicionado um modelo `.gitignore` apropriado para projetos Python. A estrutura inicial do seu projeto deve se parecer com isto:

```
└── .gitignore
```

Essa configuração inicial é fundamental para garantir uma base sólida para o desenvolvimento da sua aplicação serverless.

ESQUELETO DA API

É tentador começar a escrever código no seu editor favorito imediatamente, deixando a questão da implantação para depois. Após algumas implementações em um servidor, surgem novas ideias e você faz ajustes no código, mas como saber se algo foi quebrado? Talvez você não tenha certeza absoluta, então acabe gastando tempo testando de forma manual. Mesmo assim, esses testes cobrem apenas os cenários principais, e logo você se verá tentando verificar todos os casos possíveis, consumindo ainda mais tempo. Quando chega a hora de implantar de novo, você se lembra das etapas que seguiu na primeira vez? Esse processo pode ser repetitivo e sujeito a erros. Em vez disso, é mais eficiente começar pensando na estrutura do projeto e no pipeline de CI/CD, garantindo que a implantação e os testes sejam automatizados e contínuos, facilitando o desenvolvimento futuro.

Para começar o desenvolvimento do serviço backend, navegue até o diretório do projeto e crie uma pasta chamada `"services"`, dentro dela, adicione outra pasta nomeada `"my_api"`. Inicialize um novo projeto com o Poetry dentro de `"my_api"`, caso não tenha o Poetry instalado, siga o guia oficial de instalação. Durante a configuração do projeto, preencha os dados solicitados, como nome do pacote, versão e compatibilidade com Python 3.12, já que essa é a versão suportada

SUMÁRIO

pelo AWS Lambda. Após a configuração, instale as ferramentas de desenvolvimento necessárias, como `pytest`, `pytest-cov`, `black`, `isort`, `flake8` e `bandit`, que irão garantir a qualidade do código. Em seguida, adicione os arquivos `pyproject.toml` e `poetry.lock` ao controle de versão com Git, faça o commit e envie para o repositório remoto.

Agora, dentro do diretório do projeto, vamos desenvolver uma API para gerenciar tarefas com os seguintes endpoints: criar tarefa, listar tarefas abertas, listar tarefas concluídas e fechar uma tarefa. Utilizaremos o FastAPI, que é um framework leve e eficiente para aplicações web. Como precisamos que o aplicativo seja acessível via navegador, ele será uma excelente escolha. Para começar, instalamos o FastAPI junto com o Uvicorn, um servidor ASGI muito rápido para rodar a aplicação, e o HTTPX, um cliente HTTP versátil. Além de servir o aplicativo, também usaremos o HTTPX para realizar testes da API. Com o ambiente configurado, o próximo passo é implementar testes automatizados para garantir que tudo funcione corretamente no pipeline de CI/CD, começando com um simples endpoint de verificação de saúde.

Crie um novo módulo chamado `tests.py` dentro de `"services/my_api"`:

```
import pytest
from fastapi import status
from starlette.testclient import TestClient
from main import app

@pytest.fixture
def client():
    return TestClient(app)

def test_my_api_ok(client):
    response = client.get("/api/check-api-ok/")
    assert response.status_code == status.HTTP_200_OK
    assert response.json() == {"message": "OK"}
```

O client é uma fixture do pytest, que é uma função executada pelo runner do pytest. Por padrão, as fixtures são executadas antes de cada teste, embora esse comportamento possa ser modificado usando o argumento scope. O valor retornado pela fixture é passado para o argumento client na função de teste, sendo essencial que o nome da fixture e o do argumento coincidam. Para garantir que o teste falhe, execute o seguinte comando:

```
$ poetry run pytest tests.py
```

O resultado será uma falha indicando:

```
from main import app
```

```
E ModuleNotFoundError: No module named main
```

Após, crie um novo arquivo chamado "main.py" dentro da pasta "services/my_api" para resolver o erro.

```
from fastapi import FastAPI
from fastapi.middleware.cors import CORSMiddleware
app = FastAPI()
app.add_middleware(
    CORSMiddleware,
    allow_origins="*",
    allow_credentials=True,
    allow_methods=["*"],
    allow_headers=["*"],
)
@app.get("/api/check-api-ok/")
def health_check():
    return {"message": "OK"}
```

É isso! Simples assim, basta retornar `{"message": "OK"}`. Para facilitar nosso desenvolvimento e permitir o consumo da API do aplicativo Vue localmente, adicionamos o `CORSMiddleware` com uma configuração completamente aberta, que insere os cabeçalhos

CORS necessários nas respostas. Agora, o teste deve passar ao executar o comando `$ poetry run pytest tests.py`.

Depois, adicione todas as alterações ao Git, crie um commit e envie-o com os comandos `$ git add -A`, `$ git commit -m Esqueleto da API` e `$ git push -u origin main`. Agora você tem um aplicativo em execução que foi testado. Quer testar? Execute `$ poetry run uvicorn main:app --reload` e navegue até `http://127.0.0.1:8000/api/check-api-ok/` no seu navegador, onde deverá ver `{"message": "OK"}`. Até agora, você construiu um aplicativo que retorna `{"message": "OK"}` ao chamar `/api/check-api-ok/`. Embora pareça simples, você realmente tem um aplicativo funcionando, com uma base de código que inclui testes que podem ser executados dentro de um pipeline de CI/CD e uma aplicação que pode ser implementada e monitorada. Isso é perfeito por enquanto! Seu projeto deve ficar assim:

```
├── .gitignore
├── services
│   └── my_api
│       ├── main.py
│       ├── poetry.lock
│       ├── pyproject.toml
│       └── tests.py
```

ESQUELETO DA API

Seguindo em frente, vamos adicionar nossas verificações de qualidade de código ao pipeline de CI/CD. Primeiro, acesse seu projeto e crie uma nova pasta chamada `“.github/workflows”` para armazenar os fluxos de trabalho do GitHub Actions, utilizando os comandos `$ cd my_api_aws`, `$ mkdir .github`, `$ cd .github`, `$ mkdir workflows` e `$ cd workflows`. Em seguida, adicione um novo arquivo chamado `“api.yml”` na pasta `“workflows”`.

SUMÁRIO

```
name: Testando minha API e realizando deploy
on:
  push:
  paths:
    - services/my_api/**
    - .github/workflows/api.yml
jobs:
  code-quality:
    strategy:
      fail-fast: false
    matrix:
      python-version: [3.12]
      poetry-version: [1.74]
      os: [ubuntu-latest]
    runs-on: ${ matrix.os }
    defaults:
      run:
        working-directory: services/my_api
    steps:
      - uses: actions/checkout@v3
      - uses: actions/setup-python@v3
        with:
          python-version: ${ matrix.python-version }
      - name: Install poetry
        uses: abatilo/actions-poetry@v2.0.0
        with:
          poetry-version: ${ matrix.poetry-version }
      - name: Install dependencies
        run: poetry install --no-root
      - name: Run black
        run: poetry run black . --check
      - name: Run isort
        run: poetry run isort . --check-only
      - name: Run flake8
        run: poetry run flake8 .
      - name: Run bandit
        run: poetry run bandit .
```

Antes de prosseguir, adicione um novo arquivo chamado `.flake8` dentro de `"services/my_api"`:

```
[flake8]
max-line-length = 120
exclude = .git, build, dist, .venv
max-complexity = 10
docstring_style=sphinx
```

Essa configuração garante que o código formatado com Black passe pelo linting do Flake8. Antes de confirmar seu código, para evitar falhas nos trabalhos de qualidade de código, navegue até `"services/my_api"` e execute os comandos `$ poetry run black .`, `$ poetry run isort . --profile black` e `$ poetry run flake8`. Em seguida, confirme e envie suas alterações para o repositório remoto utilizando `$ git add -A`, `$ git commit -m Add code quality job` e `$ git push -u origin main`. Por fim, adicione uma tarefa para nossos testes automatizados no arquivo `.github/workflows/api.yml`.

```
name: Testando minha API e realizando deploy
on:
  push:
    paths:
      - services/my_api/**
      - .github/workflows/api.yml
jobs:
  test: # adicionando o teste ao workflow
    strategy:
      fail-fast: false
    matrix:
      python-version: [3.12]
      poetry-version: [1.74]
      os: [ubuntu-latest]
    runs-on: ${ matrix.os }
    defaults:
```

SUMÁRIO

SUMÁRIO

```
run:
  working-directory: services/my_api
steps:
- uses: actions/checkout@v3
- uses: actions/setup-python@v3
  with:
    python-version: ${ matrix.python-version }
- name: Install poetry
  uses: abatilo/actions-poetry@v2.0.0
  with:
    poetry-version: ${ matrix.poetry-version }
- name: Install dependencies
  run: poetry install --no-root
- name: Run tests
  run: poetry run pytest tests.py --cov=./ --cov-report=xml
- name: Upload coverage to Codecov
  uses: codecov/codecov-action@v3
  with:
    token: ${ secrets.CODECOV_TOKEN }
code-quality:
strategy:
  fail-fast: false
matrix:
  python-version: [3.12]
  poetry-version: [1.74]
  os: [ubuntu-latest]
runs-on: ${ matrix.os }
defaults:
  run:
    working-directory: services/my_api
steps:
- uses: actions/checkout@v3
- uses: actions/setup-python@v3
```

SUMÁRIO

```
with:
  python-version: ${{ matrix.python-version }}
- name: Install poetry
  uses: abatilo/actions-poetry@v2.0.0
with:
  poetry-version: ${{ matrix.poetry-version }}
- name: Install dependencies
  run: poetry install --no-root
- name: Run black
  run: poetry run black . --check
- name: Run isort
  run: poetry run isort . --check-only
- name: Run flake8
  run: poetry run flake8 .
- name: Run bandit
  run: poetry run bandit .
```

Dentro do trabalho recém-adicionado, denominado “test”, executamos os testes do módulo tests.py usando o pytest e geramos um relatório de cobertura que será enviado ao Codecov, permitindo que você rastreie as alterações na cobertura do código. Esse trabalho é executado em paralelo com o de qualidade de código e sob as mesmas condições. Antes de prosseguir, você precisará obter um token do Codecov, acessando <http://codecov.io/>, fazendo login com sua conta do GitHub e localizando seu repositório. Para obter ajuda, consulte o guia de início rápido do Codecov. Além disso, para carregar o relatório de cobertura, será necessário definir uma variável CODECOV_TOKEN no GitHub; para isso, vá até seu repositório e navegue até “Settings -> Secrets and variables -> Actions” como pode ser visto na Figura 2.

Figura 2 – Actions do GitHub

sensitive data. [Learn more about encrypted secrets](#). Variables are shown as plain text and are used for **non-sensitive** data. [Learn more about variables](#).

Anyone with collaborator access to this repository can use these secrets and variables for actions. They are not passed to workflows that are triggered by a pull request from a fork.

Secrets

Variables

Environment secrets

Manage environments

There are no secrets for this repository's environments.

Repository secrets

There are no secrets for this repository.

Fonte: elaborado pelo autor, 2024.

Clique em “Novo segredo do repositório” e defina o nome como “CODECOV_TOKEN” com o valor do seu token, como é mostrado na Figura 3:

Figura 3 – Adicionando secrets

General

Access

Collaborators

Moderation options

Code and automation

Branches

Tags

Actions

Webhooks

Environments

Codespaces

Pages

Security

Code security and analysis

Deploy keys

Secrets and variables

Actions

Codespaces

Dependabot

Actions secrets / New secret

Name *

CODECOV_TOKEN

Secret *

Add secret

Fonte: elaborado pelo autor, 2024.

Clique em "Adicionar segredo" para salvá-lo. Os segredos de ações estão disponíveis para todos os trabalhos de CI/CD dentro do pipeline.

Após, crie um novo commit e envie as alterações para o repositório remoto com os comandos `$ git add -A`, `$ git commit -m Add tests job` e `$ git push -u origin main`.

Neste capítulo, embora possa parecer que não realizamos muito trabalho, completamos uma série de tarefas essenciais. Primeiramente, configuramos verificações de qualidade de código para assegurar que o nosso siga um estilo consistente e esteja livre de vulnerabilidades de segurança conhecidas. Se qualquer uma dessas verificações falhar, todo o pipeline falha, nos forçando a agir rapidamente, já que essas verificações são executadas no início do pipeline.

Isso significa que trabalhos subsequentes, como a implantação, só serão realizados após as etapas de teste e qualidade de código serem bem-sucedidas, permitindo um feedback ágil. Em seguida, adicionamos um job para executar nossos testes automatizados, que também são realizados no início do pipeline, garantindo que possamos responder imediatamente a qualquer falha. Além disso, habilitamos o rastreamento de cobertura de código por meio do Codecov.

Embora o número de cobertura seja relevante, o foco deve estar nas variações ao longo do tempo; queremos que esse número permaneça acima de 70%, mas o importante é monitorar as alterações, comparando o branch principal com o branch de PR/MR. Essa análise nos permite identificar se a cobertura está caindo ou aumentando de forma inesperada ou se há uma diminuição gradual, facilitando a tomada de decisões apropriadas. Com isso, enriquecemos e aceleramos nosso ciclo de feedback.

SUMÁRIO

Neste ponto, seu projeto deve ter a seguinte estrutura:

```
├── .github
│   └── workflows
│       └── api.yml
├── .gitignore
├── services
│   └── my_api
│       ├── .flake8
│       ├── main.py
│       ├── poetry.lock
│       ├── pyproject.toml
│       └── tests.py
```

SUMÁRIO

IMPLANTAÇÃO

Com a estrutura básica do aplicativo completo e as tarefas de testes e verificação de qualidade devidamente definidas, o próximo passo é realizar a implantação. Para isso, vamos adaptar a aplicação FastAPI para rodar no AWS Lambda com o suporte do API Gateway. Isso será feito utilizando o Mangum, uma biblioteca que permite executar aplicações ASGI no ambiente do AWS Lambda. Primeiro, instale o Mangum com o comando: `$ poetry add Mangum`.

Edite `services/my_api/main.py` adicionando **from mangum** **import** Mangum e `handle = Mangum(app)` na última linha do arquivo. Aqui, definimos uma função manipuladora chamada `main`. `handle`, especificando o nome do módulo (`main`) e o nome da função (`handle`) separados por um ponto (`.`). Observe o manipulador dentro de `main.py` : `handle = Mangum(app)`.

ESTRUTURA SEM SERVIDOR

Para realizar a implantação do nosso aplicativo, utilizaremos o Serverless Framework, que facilita o desenvolvimento e a implantação de aplicações serverless. Diferente de frameworks como Django ou FastAPI, o Serverless Framework não é usado diretamente no código Python. Em vez disso, criamos um arquivo de configuração chamado `serverless.yml`, que instrui o Serverless Framework sobre quais recursos serverless devem ser criados na nuvem e como nosso aplicativo será executado nesses ambientes. O framework suporta diversos provedores de nuvem, como AWS, Google Cloud e Azure. Neste curso, utilizaremos a AWS. Adicione uma nova configuração `serverless.yml` dentro de `"services/my_api"`:

```
service: my-api
frameworkVersion: 3
useDotenv: true
provider:
  name: aws
  runtime: python3.12
  region: ${opt:region, eu-west-1}
  stage: ${opt:stage, development}
  logRetentionInDays: 90
  environment:
    APP_ENVIRONMENT: ${self:provider.stage}
functions:
  API:
    handler: main.handle
    timeout: 10
    memorySize: 512
    events:
      - http:
          path: /{proxy+}
          method: any
```

SUMÁRIO

```
cors:
  origin: ${env:ALLOWED_ORIGINS}
  maxAge: 60
custom:
  pythonRequirements:
    usePoetry: true
  noDeploy:
    - boto3 # ao utilizar python com lambda use o boto3
    - botocore # necessário para a Lambda
plugins:
  - serverless-python-requirements
```

Esse arquivo de configuração contém vários elementos importantes. Primeiro, definimos o nome do serviço como `my-api`, que identifica o aplicativo dentro do Serverless Framework. Em seguida, configuramos alguns parâmetros globais, como `frameworkVersion: 3`, para garantir que usamos uma versão específica do framework, e `useDotenv: true`, que permite o uso de variáveis de ambiente carregadas de arquivos `.env`, facilitando a gestão de diferentes ambientes, como desenvolvimento e produção.

O provedor configurado é a AWS, com tempo de execução Python 3.12, garantindo que o Lambda funcione com essa versão do Python. Padrões para a região (`eu-west-1`) e estágio (`development`) são definidos, mas podem ser sobrescritos ao passar parâmetros na linha de comando. Além disso, a retenção de logs é configurada para 90 dias, mantendo o equilíbrio entre custos e armazenamento.

A função Lambda principal é definida com `main.handle` como handler, que será invocada via API Gateway, capturando todo o tráfego HTTP com o padrão de caminho `/ {proxy+}`. O Mungum atua como intermediário, adaptando o evento do API Gateway para o FastAPI. Também utilizamos o plugin `serverless-python-requirements` para gerenciar as dependências do Python de forma eficiente.

Por fim, variáveis de ambiente, como `ALLOWED_ORIGINS`, são gerenciadas em arquivos `.env`, permitindo uma configuração flexível para diferentes estágios de implantação.

Em seguida, adicione um novo arquivo chamado *package.json* em "services/my_api":

```
{  
  "name": "my-api", "version": "1.0.0", "description": "", "main": "index.js",  
  "dependencies": {},  
  "devDependencies": { "serverless-python-requirements": "^5.1.1" },  
  "scripts": { "test": "echo \"Error: no test specified\" && exit 1" },  
  "author": "", "license": "ISC"  
}
```

PIPELINE DE CI/CD

Com a configuração do Serverless pronta, precisamos configurar o pipeline de CI/CD para implantar o aplicativo.

Adicione um novo trabalho chamado `deploy-development` e as variáveis de ambiente apropriadas em *.github/workflows/api.yml* :

```
deploy-development: # novo step adicionado para o deploy  
  needs: [ test, code-quality ]  
  strategy:  
    fail-fast: false  
  matrix:  
    python-version: [3.12]  
    poetry-version: [1.74]  
    node-version: [20]  
    os: [ubuntu-latest]  
    runs-on: ${{ matrix.os }}
```

SUMÁRIO

```
defaults:
  run:
    working-directory: services/my_api
steps:
  - name: Checkout Code
    uses: actions/checkout@v3
  - name: Set up Python 3.12
    uses: actions/setup-python@v3
    with:
      python-version: ${{ matrix.python-version }}
  - name: Install poetry
    uses: abatilo/actions-poetry@v2.0.0
    with:
      poetry-version: ${{ matrix.poetry-version }}
  - uses: actions/setup-node@v3
    with:
      node-version: ${{ matrix.node-version }}
  - name: Install Serverless Framework
    run: npm install -g serverless
  - name: Install NPM dependencies
    run: npm install
  - name: Deploy
    run: sls deploy --stage development --verbose
```

Dentro do trabalho recém-adicionado de `deploy-development`, seguimos algumas etapas essenciais: primeiro, preparamos o ambiente básico instalando Python, Poetry e Node. Em seguida, instalamos o Serverless como uma dependência global, permitindo a execução dos comandos `sls`. Depois, instalamos as dependências do `package.json`, que, neste ponto, incluem apenas o plugin `serverless-python-requirements`. Por último, mas não menos importante, implantamos nossos aplicativos utilizando o comando `sls deploy --stage development --verbose`, adicionando a opção `--verbose` para exibir saídas detalhadas, como a URL do API Gateway.

Antes de poder fazer commit e push, você precisará adicionar credenciais da AWS ao GitHub. Se você ainda não tem uma conta da AWS, crie-a no console da AWS. Primeiro, abra o console do IAM e clique em "Add user". Em seguida, insira "github" como o nome de usuário e clique em "Next", como pode ser visto na Figura 4.

Figura 4 – IAM Aws

Specify user details

User details

User name

github

The user name can have up to 64 characters. Valid characters: A-Z, a-z, 0-9, and +, -, @, _ (hyphen)

☐ Provide user access to the AWS Management Console - optional

If you're providing console access to a person, it's a [best practice](#) to manage their access in IAM Identity Center.

If you are creating programmatic access through access keys or service-specific credentials for AWS CodeCommit or Amazon Keyspaces, you can generate them after you create this IAM user. [Learn more](#)

Cancel Next

Fonte: elaborado pelo autor, 2024.

Na próxima etapa, selecione "Anexar políticas diretamente" e selecione "Acesso de administrador". Clique em "Próximo" e, em seguida, em "Criar usuário". Depois que seu usuário for criado (você o verá na lista de usuários), clique nele para abrir seus detalhes. Quando estiver lá, mude para a aba "Credenciais de segurança" e clique em "Criar chave de acesso" como pode ser visto na Figura 5.

Figura 5 – Credenciais de segurança

Permissions Groups Tags **Security credentials** Access Advisor

Console sign-in

Enable console access

Console sign-in link

<https://signin.aws.amazon.com/console>

Console password

Not enabled

Multi-factor authentication (MFA) ⓘ

Use MFA to increase the security of your AWS environment. Signing in with MFA requires an authentication code from an MFA device. Each user can have a maximum of 1 MFA device assigned. [Learn more](#)

Remove Resync Assign MFA device

Device type	Identifier	Created on
No MFA devices. Assign an MFA device to improve the security of your AWS environment		
Assign MFA device		

Access keys ⓘ

Use access keys to send programmatic calls to AWS from the AWS CLI, AWS Tools for PowerShell, AWS SDKs, or direct AWS API calls. You can have a maximum of two access keys (active or inactive) at a time. [Learn more](#)

Create access key

No access keys

As a best practice, avoid using long-term credentials like access keys. Instead, use tools which provide short term credentials. [Learn more](#)

Create access key

Fonte: elaborado pelo autor, 2024.

Depois disso, selecione “Application running outside of AWS” e clique em “Next”. Na próxima tela, clique em “Create access key”, como pode ser visto na Figura 6.

Figura 6 – Create access key

Access key best practices & alternatives

Avoid using long-term credentials like access keys to improve your security. Consider the following use cases and alternatives.

The screenshot shows the 'Create access key' interface with several radio button options. The 'Application running outside AWS' option is selected. Below the options is a section titled 'It's okay to use an access key for this use case, but follow the best practices:' which lists three bullet points: 'Never store your access key in plain text, in a code repository, or in code.', 'Disable or delete access keys when no longer needed.', and 'Enable least-privilege permissions.' It also includes a link to 'Best practices for managing AWS access keys.' At the bottom right, there are 'Cancel' and 'Next' buttons.

☐ Command Line Interface (CLI)
You plan to use this access key to enable the AWS CLI to access your AWS account.

☐ Local code
You plan to use this access key to enable application code in a local development environment to access your AWS account.

☐ Application running on an AWS compute service
You plan to use this access key to enable application code running on an AWS compute service like Amazon EC2, Amazon ECS, or AWS Lambda to access your AWS account.

☐ Third-party service
You plan to use this access key to enable access for a third-party application or service that monitors or manages your AWS resources.

☒ Application running outside AWS
You plan to use this access key to enable an application running on an on-premises host, or to use a local AWS client or third-party AWS plugin.

☐ Other
Your use case is not listed here.

It's okay to use an access key for this use case, but follow the best practices:

- Never store your access key in plain text, in a code repository, or in code.
- Disable or delete access keys when no longer needed.
- Enable least-privilege permissions.
- Rotate access keys regularly.

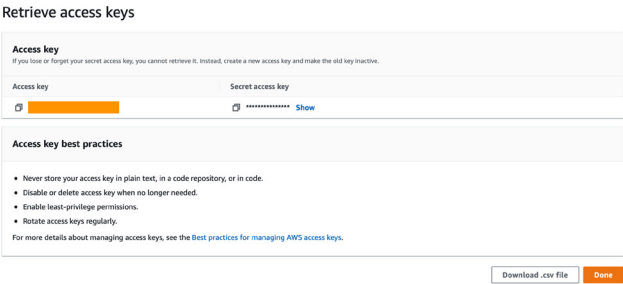
For more details about managing access keys, see the [Best practices for managing AWS access keys](#).

Cancel Next

Fonte: elaborado pelo autor, 2024.

Depois de ter as credenciais para seu usuário do GitHub IAM, você precisa adicioná-lo ao GitHub. Para fazer isso, vá para seu repositório e clique em “Configurações” -> “Segredos e variáveis -> Ações”. Em seguida, clique em “Novo segredo do repositório”. Defina as chaves AWS_ACCESS_KEY_ID e AWS_SECRET_ACCESS_KEY para os valores das credenciais que você acabou de criar, como pode ser visto na Figura 7.

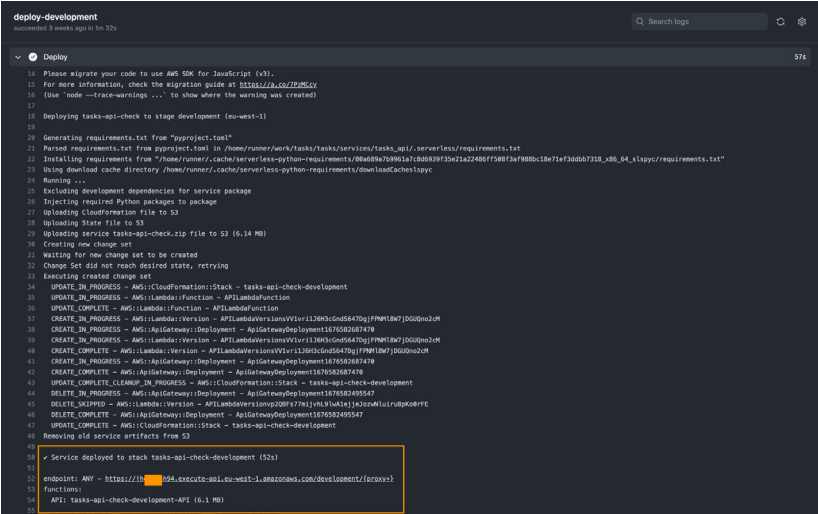
Figura 7 – Acesso as informações da key



Fonte: elaborado pelo autor, 2024.

Com as configurações finalizadas, prossiga e faça o commit das alterações utilizando os comandos \$ git add -A, \$ git commit -m Adicionar configuração de deploy e \$ git push -u origin main. Em seguida, verifique a saída do pipeline para localizar a URL onde seu aplicativo estará acessível. Para obter mais detalhes, expanda as etapas de Deploy na saída do job deploy-development, garantindo que você tenha todas as informações necessárias sobre o processo de implantação, como pode ser visto na Figura 8.

Figura 8 – Deploy GitHub Action (Workflow)



Fonte: elaborado pelo autor, 2024.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo, você implementou as configurações necessárias para implantar seu aplicativo usando o Serverless Framework, garantindo que ele seja implantado automaticamente a cada push, desde que os testes e os trabalhos de qualidade de código sejam aprovados. Você também testou seu endpoint de saúde, acessando `https://<api-gateway-id>.execute-api.eu-west-1.amazonaws.com/development/api/check-api-ok/` e visualizou a resposta `{"message": "OK"}` em seu navegador. Além disso, teve a oportunidade de acompanhar os logs do seu aplicativo no console do CloudWatch, o que facilita a monitoração e a identificação de problemas. Com isso, você estabeleceu uma base sólida para um fluxo de trabalho contínuo e eficiente, pronta para auxiliar no desenvolvimento e na evolução do seu projeto.

REFERÊNCIAS

WHAT is Amazon API Gateway? **AWS**, c2025. Disponível em: <https://docs.aws.amazon.com/apigateway/latest/developerguide/welcome.html>. Acesso em: 10 jun. 2025.

WHAT is Amazon DynamoDB? **AWS**, c2025. Disponível em: <https://docs.aws.amazon.com/amazondynamodb/latest/developerguide/Introduction.html>. Acesso em: 10 jun. 2025.

WHAT is AWS CloudFormation? **AWS**, c2025. Disponível em: <https://docs.aws.amazon.com/AWSCloudFormation/latest/UserGuide/Welcome.html>. Acesso em: 15 jun. 2025.

WHAT is AWS Lambda? **AWS**, c2025. Disponível em: <https://docs.aws.amazon.com/lambda/latest/dg/welcome.html>. Acesso em: 20 jun. 2025.

WHAT is Step Functions? **AWS**, c2025. Disponível em: <https://docs.aws.amazon.com/step-functions/latest/dg/welcome.html>. Acesso em: 12 jun. 2025.

4

*Cayo Pablio Santana de Jesus
Alfredo Eurico Rodrigues Matta
Francisca de Paula Santos da Silva
Maludiane Nascimento Mamede*

INTRODUÇÃO ÀS PRÁTICAS WEB ACESSÍVEIS

SUMÁRIO

RESUMO:

A deficiência é um fenômeno sociocultural que gera barreiras e um ambiente hostil para as pessoas que convivem com ela. A acessibilidade é um meio de beneficiar todos os indivíduos e agregar as pessoas com deficiência à sociedade. Visando dirimir justamente o tensionamento ocasionado pelas barreiras às pessoas com deficiências, propomos uma capacitação profissional para profissionais que desenvolvem conteúdos web. Desta maneira, estaremos contribuindo para a elaboração de páginas acessíveis enquanto promovemos uma mudança no pensamento social.

INTRODUÇÃO

Não há diferença entre pessoas com e sem deficiência. Ambas merecem as mesmas oportunidades e respeito, independentemente de suas condições físicas e/ou cognitivas. Segundo Vigotski (2021), o ser humano é produto de suas interações sociais e históricas; na nossa compreensão, desta maneira, a deficiência passa a ser compreendida como um produto histórico sociocultural. Assumimos, então, a premissa de que a diferença é uma vantagem nas interações de um grupo social. Assim, as limitações impostas pela deficiência, quando vistas como parte da diversidade humana, tornam-se barreiras apenas quando a sociedade falha em reconhecer e adaptar-se a essas diferenças. Sendo assim, a pessoa com deficiência passa a perceber dificuldades, em virtude de viver em uma sociedade que não respeita suas limitações. Essa situação é chamada de defeito secundário (Vigotski, 2012). No nosso entendimento, é o meio sociocultural em que a pessoa está inserida que cria barreiras, ou seja, um ambiente sociocultural hostil, construído contra a deficiência que o indivíduo possui (García, 2017).

A legislação brasileira, através do art. 3º, item IV, da Lei nº 13.146, também conhecida como Lei Brasileira de Inclusão da Pessoa com Deficiência (LBI), de 6 de julho de 2015, define as barreiras como:

qualquer entrave, obstáculo, atitude ou comportamento que limite ou impeça a participação social da pessoa, bem como o gozo, a fruição e o exercício de seus direitos à acessibilidade, à liberdade de movimento e de expressão, à comunicação, ao acesso à informação, à compreensão, à circulação com segurança, entre outros (Brasil, 2015).

Podemos perceber que este significado está em consonância com a argumentação defendida de que o meio sociocultural influencia na vida da pessoa com deficiência. Um modo de romper as barreiras e impulsionar a mudança de pensamento da sociedade, assim como do seu meio sociocultural, é através da acessibilidade.

A acessibilidade “é uma qualidade, uma facilidade que desejamos ver e ter em todos os contextos e aspectos da atividade humana” (Sassaki, 2009, p. 12).

Destarte, em uma sociedade em que todos sejam beneficiados, os projetos devem contemplar a acessibilidade. Mesmo com o avanço que a computação atingiu com o passar dos anos, ainda é possível observar que há recursos computacionais tanto de hardware quanto de software que carecem de acessibilidade. E na internet não é diferente, ainda se percebe a existência de uma gama de sites que não possuem nenhum artifício que vise resolver a questão, o que gera barreiras às pessoas com deficiência. Esse cenário ocasiona um tensionamento e são justamente as tensões sociais que promovem as rupturas de pensamentos e mudanças na sociedade.

Diante do exposto, identificamos a falta de capacitação adequada para profissionais que desenvolvem sites web como um problema. Este trabalho tem como objetivo oferecer um minicurso introdutório sobre práticas de acessibilidade web, visando preparar esses profissionais para a criação de páginas acessíveis. Dessa forma, contribuiremos para promover uma mudança no pensamento e no meio sociocultural.

ARTICULAÇÃO CONCEITUAL

Nesta seção apresentaremos a nossa análise a respeito dos pressupostos conceituais e teóricos que alicerçam este trabalho. Iniciaremos a partir da definição de pessoa com deficiência feita pela LBI:

Pessoa com deficiência aquela que tem impedimento de longo prazo de natureza física, mental, intelectual ou sensorial, o qual, em interação com uma ou mais barreiras, pode obstruir sua participação plena e efetiva na sociedade em igualdade de condições com as demais pessoas (Brasil, 2015).

Dando continuidade à explanação dos conceitos, o art. 3º, item IV, da LBI define barreiras como:

barreiras: qualquer entrave, obstáculo, atitude ou comportamento que limite ou impeça a participação social da pessoa, bem como o gozo, a fruição e o exercício de seus direitos à acessibilidade, à liberdade de movimento e de expressão, à comunicação, ao acesso à informação, à compreensão, à circulação com segurança, entre outros, classificadas em:

a) barreiras urbanísticas: as existentes nas vias e nos espaços públicos e privados abertos ao público ou de uso coletivo;

b) barreiras arquitetônicas: as existentes nos edifícios públicos e privados;

c) barreiras nos transportes: as existentes nos sistemas e meios de transportes;

d) barreiras nas comunicações e na informação: qualquer entrave, obstáculo, atitude ou comportamento que dificulte ou impossibilite a expressão ou o recebimento de mensagens e de informações por intermédio de sistemas de comunicação e de tecnologia da informação;

e) barreiras atitudinais: atitudes ou comportamentos que impeçam ou prejudiquem a participação social da pessoa com deficiência em igualdade de condições e oportunidades com as demais pessoas;

f) barreiras tecnológicas: as que dificultam ou impedem o acesso da pessoa com deficiência às tecnologias; (Brasil, 2015).

Em nossa compreensão, a definição de pessoa com deficiência estabelecida pela LBI não considera os fatores socioculturais. Argumentamos que é o meio sociocultural que molda tanto o ambiente em que vivemos como o pensamento dos indivíduos. A deficiência é uma limitação que a pessoa possui, não importa como a adquiriu. O que importa é que ela tenha as mesmas condições e oportuni-

des que qualquer outra pessoa de viver na sociedade, isto é, de se locomover sem dificuldades ao pegar um transporte público, de ter acesso a qualquer tipo de informação e comunicação por qualquer tipo de meio, seja este analógico ou digital, ter acesso às vias e aos espaços públicos, privados ou coletivos, pois qualquer impedimento que limite a capacidade de uma pessoa com deficiência de realizar uma atividade é considerado uma barreira.

E quem produz essas barreiras? A sociedade! Muitas vezes de forma inconsciente. Em nosso entendimento, isso ocorre devido à ideia enraizada de que a pessoa com deficiência deve ser “incluída” no meio social. Afinal, essas pessoas já fazem parte da sociedade. Assim, a partir do momento em que pensamos que devemos incluí-las, estamos partindo do princípio de que a sociedade em que vivemos não oferece condições dignas de vida para todos os indivíduos; isto é, as pessoas com deficiência são segregadas de certa maneira.

Temos que aprender a respeitar e aceitar o próximo como ele é. Assim, neste trabalho, não estamos procurando incluir, mas sim agregar as pessoas na sociedade de maneira que todas elas possam viver como são, com suas singularidades respeitadas dentro da pluralidade do coletivo. Concordamos com García (2017, p. 25), a deficiência é “uma situação injusta e muito mal resolvida em relação à participação das pessoas com deficiência em todos os âmbitos da sociedade, devido às barreiras sociais e não a um atributo ou característica pessoal”.

Isto posto, acreditamos que é necessário entendermos a condição imposta pela limitação da deficiência à pessoa, desta maneira, teremos condições de propor mudanças na sociedade. No nosso entendimento, a acessibilidade é um caminho. O art. 3, item I, da LBI define a acessibilidade como:

possibilidade e condição de alcance para utilização, com segurança e autonomia, de espaços, mobiliários, equipamentos urbanos, edificações, transportes, informação e

SUMÁRIO

comunicação, inclusive seus sistemas e tecnologias, bem como de outros serviços e instalações abertos ao público, de uso público ou privados de uso coletivo, tanto na zona urbana como na rural, por pessoa com deficiência ou com mobilidade reduzida (Brasil, 2015).

Essa definição está de acordo com a análise apresentada de que a deficiência é imposta pela sociedade e que não podemos aceitar a segregação das pessoas, uma vez que todas devem ser tratadas da mesma maneira sem qualquer tipo de distinção. Concordamos com Melo e Baranauskas (2005, p. 1505), que definem a acessibilidade no uso de sistemas computacionais pelos seres humanos “como a flexibilidade proporcionada para o acesso à informação e à interação, de maneira que diferentes usuários com diferentes necessidades podem acessar e usar esses sistemas”. Ao compreender quais são as necessidades demandadas pelos usuários, podemos projetar as soluções adequadas, mas, para isso, faz-se necessário entender as limitações impostas pela deficiência à pessoa e como estas influenciam o acesso ao site web. Conforme Barbosa e Silva (2010), durante a interação, o usuário faz o uso de sua habilidade motora, de seus sentidos, de sua percepção e, por fim, de sua capacidade cognitiva.

Baseamos nossa compreensão sobre algumas possíveis limitações que a pessoa possa ter nas definições estabelecidas pela Organização Mundial da Saúde (OMS) e pela legislação brasileira, por meio da LBI e do Decreto nº 5.296/2004. Contudo, enfatizamos que analisamos estes conceitos tendo em vista uma interpretação do aspecto social. Além disso, examinaremos a maneira como a pessoa com deficiência acessa uma página web e como a sua limitação condiciona esse ato.

As pessoas com deficiência física possuem alguma “alteração completa ou parcial de um ou mais segmentos do corpo humano, acarretando o comprometimento da função física” (Brasil, 2004). Como consequência imposta pela sua limitação, as principais dificuldades enfrentadas ao acessar os sites web estão relacionadas

SUMÁRIO

às suas habilidades motoras ao manusear o dispositivo computacional. Pessoas com movimentos involuntários, por exemplo, podem fazer o uso da máscara para teclado ou colmeia, uma placa de acrílico que possui aberturas no local das teclas que ficam sobre o teclado. O mouse de botão é outro exemplo de Tecnologia Assistiva (TA) para pessoa com limitação motora, neste caso o mouse possui quatro botões que realizam a movimentação do cursor na tela, além de outros quatro para clique esquerdo, direito, clique preso e segunda função. Evidentemente cada pessoa possui sua singularidade, por este motivo, há casos em que é necessário personalizar o dispositivo de entrada. Nessas situações, o acionador é um recurso indicado, pois permite a personalização de acordo com a necessidade da pessoa, independente de qual parte do corpo será utilizada para o acesso. Pessoas com limitações nos membros, por exemplo, podem realizar o acesso por comando de voz (Escola Nacional de Administração Pública, [2025]; Salton; Dall Agnol; Turcatti, 2017).

A nossa análise apresentou que os fatores mais influenciados pela limitação das pessoas com deficiência física estão relacionados aos tipos de dispositivos de entrada; contudo, compreendemos que, para elaborar um site web, temos que levar em consideração que existem pessoas que possuem um acesso ao dispositivo computacional alternativo aos meios mais utilizados. Dessa forma, precisamos pensar que impor limites temporais nas páginas web, bem como desenvolver páginas com funcionalidades ativadas por meio da combinação de várias teclas pode dificultar o acesso a essas pessoas (World Wide Web Consortium, 2023).

A pessoa com deficiência auditiva pode ter a perda completa ou parcial da audição. Determinadas pessoas com surdez parcial conseguem ouvir alguns sons, já outras não compreendem as palavras. A pessoa surda não ouve som algum (World Health Organization, [2024]). A limitação imposta pela deficiência à pessoa surda ou com surdez parcial é o acesso à audição, o que, por sua vez, pode ocasionar problemas relacionados tanto à leitura como à

escrita na língua portuguesa, uma vez que nem toda pessoa surda ou com surdez parcial foi alfabetizada. A Língua Brasileira de Sinais (Libras) é a comunicação comumente usada pela comunidade surda. Desta maneira, no nosso entendimento, as principais dificuldades enfrentadas pela pessoa surda e com surdez parcial ao acessar site web estão relacionadas a informações repassadas apenas por som. Para que este problema seja evitado, é necessário que áudio e vídeo sejam sempre acompanhados por legendas, transcrição textual ou Libras; além disso, o conteúdo da página deve possuir uma linguagem clara e simples (World Wide Web Consortium, 2023).

A pessoa que possui deficiência visual pode ter o comprometimento total ou parcial do seu campo de visão (World Health Organization, [2024]). Sendo assim, a depender da situação, o seu acesso ao meio digital pode ser de duas maneiras. No caso da pessoa cega, esta possui o campo visual totalmente comprometido. Deste modo, o acesso ao site web ocorre por meio dos leitores de tela e da navegação realizada pelo teclado ou linha Braille. O leitor de tela é um dispositivo que captura todas as informações da interface gráfica do sistema operacional e as reproduz por meio de uma voz sintetizada; já a linha ou leitor Braille é um dispositivo de entrada/saída que permite à pessoa cega escrever e ler em Braille (Sonza *et al.*, 2013).

As principais limitações impostas pela cegueira estão relacionadas ao repasse das informações dispostas na interface gráfica. Desta maneira, para evitar que isso aconteça, é necessário que vídeos e imagens possuam uma alternativa textual ou sonora, e que as páginas web tenham funções que funcionam pelo teclado. Além disso, links mal descritos podem ocasionar problemas na navegação assim como no entendimento do conteúdo do site; as tabelas devem fazer sentido quando lidas linearmente, uma vez que os leitores de tela fazem a leitura linear; formulários precisam possuir uma sequência lógica para que auxilie no seu entendimento, desta maneira, os campos de formulários sem descrição adequada devem ser evitados, assim como os arquivos com pouca ou nenhuma acessibilidade (World Wide Web Consortium, 2023).

SUMÁRIO

SUMÁRIO

Já no caso da pessoa com baixa visão, esta possui seu campo visual parcialmente comprometido (World Health Organization, [2024]) e o seu acesso ao meio digital ocorre através do uso de ampliadores de tela ou lupa. Em alguns casos, a pessoa com baixa visão enfrenta dificuldade com o contraste das cores. As principais limitações impostas pela deficiência à pessoa com baixa visão ao acessar sites estão no contraste ruim de cores, na fonte com serifa ou decoração e nos conteúdos que perdem sua funcionalidade quando ampliados (World Wide Web, 2023). Ainda existe o daltonismo, uma condição visual que dificulta a distinção de algumas cores, sendo mais frequente o vermelho e o verde, e menos frequente o azul e o amarelo. Em alguns casos raros, há a monocromacia, ou seja, a completa ausência de percepção de cores, em que a pessoa visualiza apenas tons de preto, cinza e branco (Escola Nacional de Administração Pública, [2025]). Nessa situação, a limitação imposta no acesso ao site web está relacionada ao uso de cores.

A pessoa com deficiência intelectual tem um desempenho substancialmente inferior à média nesta área, acompanhado de limitações nas mais diversas esferas, tais como: comunicação, autocuidado, habilidades sociais, uso de recursos da comunidade, saúde, segurança, competências acadêmicas, lazer e trabalho (Brasil, 2004). Percebemos que há várias restrições impostas pela deficiência intelectual, que podem reverberar nas mais diversas formas no acesso a websites; portanto, para evitar que estas limitações fiquem em evidência, é necessário que o site possua uma linguagem clara e fácil de ser compreendida, para tal recomenda-se evitar palavras difíceis ou complicadas, assim como frases muito longas e a utilização de imagens que não ajudam a explicar a temática abordada. O conteúdo do site deve ser elaborado de maneira que a informação seja apresentada de forma simples e direta, ao mesmo tempo em que proporciona detalhes adicionais, como imagens que realmente complementam o entendimento (World Wide Web Consortium, 2023).

O quadro abaixo sistematiza as limitações impostas à pessoa com deficiência ao acessar páginas web.

Quadro 1 – Elementos limitadores enfrentados pela pessoa com deficiência ao acessar sites

Descrição
Uso de limitadores temporais
Funcionalidades que são acionadas a partir da combinação de várias teclas
Navegação trabalhosa ou confusa
Áudio e vídeo sem legendas, transcrição textual ou Libras
Conteúdo e apresentação da página devem possuir uma linguagem clara e simples de ser compreendida
Atalhos via teclado
Vídeos e imagens possuam uma alternativa textual ou sonora
Cuidado na elaboração de tabelas, elas devem ser elaboradas linearmente
Funções sem atalhos
Formulários sem sequência lógica
Campos de formulários sem descrição adequada
Ausência e/ou contraste ruim de cores
Fonte com serifa ou decoração
Redimensionamento do site não pode ocasionar perdas ao conteúdo
Arquivos com pouca ou nenhuma acessibilidade

Fonte: elaborado pelo autor, 2024.

Outro elemento importante neste processo é a Tecnologia Assistiva (TA), que promove auxílio por meio de produtos, equipamentos, dispositivos, recursos, metodologias, serviços, estratégias, práticas, dentre outros que ampliam a habilidade funcional,

proporcionando um suporte indispensável às pessoas com deficiência (Bersch, 2008; Brasil, 2015). Por meio da TA, a pessoa poderá superar/romper quaisquer barreiras impostas pelo ambiente e meio sociocultural.

Uma TA extremamente importante na elaboração de sites web são diretrizes/critérios para acessibilidade web do WCAG (do inglês, *Web Content Accessibility Guidelines*), que se encontra na versão 2.2, de 5 de outubro de 2023. As diretrizes do WCAG foram definidas pelo consórcio W3C (do inglês, *World Wide Web Consortium*), responsável pela padronização, recomendação e elaboração de conteúdos para a web. A análise que realizamos a respeito das dificuldades das pessoas no acesso aos sites web, sistematizada no Quadro 1, teve como base as diretrizes do WCAG.

As diretrizes, os critérios e as recomendações do WCAG estão estruturadas em quatro princípios, a saber: 1) perceptível, tanto o conteúdo do site como a maneira em que as informações são dispostas devem ser apresentados de forma que o usuário perceba e a identifique facilmente; 2) operável, tanto a informação como a navegabilidade devem ser de fácil manuseio; 3) compreensível, relacionado ao entendimento do site, o conteúdo deve estar disposto de maneira que seja de fácil entendimento e; 4) robusto, está direcionado à possibilidade de incorporação de outras TAs que possam auxiliar o acesso ao site de maneira que ele mantenha seu conteúdo (World Wide Web Consortium, 2023).

PRÁTICAS WEB ACESSÍVEIS

As práticas web acessíveis que apresentaremos neste trabalho são oriundas do padrão web do W3C, um conjunto de diretrizes/recomendações cujo intuito é garantir a interoperabilidade, a acessibilidade

e o constante desenvolvimento de tecnologias web. As diretrizes do padrão web do W3C abrangem oito áreas, a saber: HTML; CSS (Cascading Style Sheets); JavaScript APIs e DOM (Document Object Model); acessibilidade por meio das diretrizes WCAG; XML (Extensible Markup Language); HTTP (Hypertext Transfer Protocol) e segurança; padrões para gráficos e multimídia e; Web Semântica e Linked Data. Focaremos as nossas práticas web nas diretrizes do padrão web do W3C, em especial do WCAG 2.2, através da utilização do HTML e do CSS (World Wide Web Consortium, 2024).

Podemos afirmar que a semântica é um dos principais pilares para a elaboração de práticas web acessíveis, pelo fato desta ser um dos principais elementos do padrão web do W3C. Além disso, por meio dela é possível elaborar conteúdos web mais acessíveis, bem como mais estruturados e compreensíveis tanto para os usuários como para os navegadores e as TAs. Isto é, por meio dos elementos semânticos, é possível organizar e estruturar melhor o conteúdo. Desta maneira, abrange-se a compatibilidade para mais navegadores, dispositivos e TAs, além disso, os motores de buscas também são beneficiados, pois compreendem uma estrutura mais organizada semanticamente da página web, e, por consequência, o usuário terá uma experiência web mais robusta, rica, compreensível e acessível (World Wide Web Consortium, 2024).

Recomendamos que as páginas web acessíveis contendam: 1) declaração do tipo de documento HTML5 `<!DOCTYPE html>`; 2) especificação do idioma da página `<html lang="pt-BR">`; 3) cabeçalho `<header>`: contém os metadados da página, como título, codificação de caracteres, menu de navegação, logotipo ou qualquer outro conteúdo introdutório; 4) conteúdo da página construído no `<body>`; 5) rodapé `<footer>`, que pode conter informações de quem desenvolveu o site web, links de contato ou referências. Além disso, as páginas web devem oferecer uma linguagem simples e direta para facilitar o entendimento do usuário.

SUMÁRIO

SUMÁRIO

Através da utilização correta das tags adequadas para cada situação e respeitando a estrutura básica de uma página web acessível, a navegação torna-se lógica ao mesmo tempo em que permite ao usuário manter o foco. A utilização correta de cabeçalhos e rótulos orienta os usuários. Para os níveis de cabeçalho, o h1 deve ser o título principal, de forma que só pode existir um elemento h1 em cada página. Os demais níveis devem manter a hierarquia. Exemplo:

```
<!DOCTYPE html>
<html lang="pt-BR">
<head>
  <!--Codificação de caracteres UTF-8, suporte a caracteres especiais -->
  <meta charset="UTF-8">
  <!--Ajusta a visualização da página em dispositivos móveis-->
  <meta name="viewport" content="width=device-width, initial-scale=1.0">
  <!--Breve descrição da página, útil para Search Engine Optimization - SEO -->
  <meta name="description" content="Exemplo de práticas webs acessíveis">
  <title>Práticas Web Acessíveis<title><!--Título aparece na aba do navegador-->
</head>
<body>
  <header><!--Contém o título e a navegação principal da página-->
    <h1> Acessibilidade na Web </h1>
    <nav><!--Elemento de navegação, facilita a criação de menus de links-->
      <ul>
        <li><a href="#sobre">Sobre</li>
        <li><a href="#contato">Contato</li>
      </ul>
    </nav>
    <!--Parte central do conteúdo da página, pode incluir seções relevantes-->
    <main>
      <h2> Introdução à Acessibilidade na Web </h2>
      <p> ...texto...<p>
      <h3>Práticas Web Acessíveis</h3>
      <p> ...texto...<p>
      <h3>Recursos de Tecnologia Assistiva</h3>
```

SUMÁRIO

```

<p> ...texto...<p>
<h2> Garantindo a Acessibilidade na Web</h2>
<p> ...texto...<p>
</main>
<section><!--Agrupa conteúdo relacionado--></section>
<footer><!--Inclui informações de rodapé-->
    <p>Curso de Introdução a Práticas Web Acessíveis - Erbase 2024<p>
</footer>
<body>
</html>

```

Evite o uso de limitadores temporais, mas caso não seja possível, permita ao usuário ajustar o tempo através de um botão ou proporcione uma alternativa para desativar esta limitação. Cada funcionalidade deve ser disponibilizada por meio do teclado, preferencialmente por uma tecla numérica, evite a combinação de várias teclas. As páginas web devem conter atalhos de teclado para facilitar a navegação e a interação dos usuários. Exemplo:

```

<!DOCTYPE html>
<html lang="pt-BR">
<head>
    <meta charset="UTF-8">
    <meta name="viewport" content="width=device-width, initial-scale=1.0">
    <title>Acessibilidade por Teclado</title>
</head>
<body>
    <header id="iniciodoconteudo">
        <h1>Acessibilidade por Teclado</h1>
        <p>Use a tecla Tab para navegar pelos elementos interativos da página.</p>
    </header>
    <nav id="iniciodomenue">
        <ul id="atalhos">
            <li><a href="#iniciodoconteudo">Ir para o conteúdo [1]</a></li>
            <li><a href="#iniciodomenue">Ir para o menu [2]</a></li>
            <li><a href="#palavra" id="busca">Ir para a busca [3]</a></li>

```

SUMÁRIO

```

        <li><a href="#iniciorodape">Ir para o rodapé [4]</a></li>
    </ul>
</nav>
<main>
    <button>Ação 1</button>
    <button>Ação 2</button>
    <section id="palavra">
        <h2>Busca</h2>
        <input type="text" placeholder="Digite sua busca" aria-label="Campo de busca">
        <button>Buscar</button>
    </section>
    <p>Este site oferece a opção de estender o tempo para completar as ações.</p>
    <button onclick="aumentarTempo()">Aumentar Tempo</button>
    <script>
        function aumentarTempo() {
            alert("O tempo foi estendido por mais 7 minutos.");
        }
    </script>
</main>
<footer id="iniciorodape">
    <p>Curso de Introdução a Práticas Web Acessíveis - Erbase 2024</p>
    <a href="#iniciodoconteudo">Voltar ao topo</a>
</footer>
</body>
</html>

```

A página web deve possuir contraste suficiente entre o texto e o fundo para melhorar a legibilidade. Evite a utilização de fonte com serifa ou decorada, pois estas dificultam a leitura. A fonte Arial é um exemplo de fácil leitura, assim como a Sans Serif. Além disso, é importante que o texto da página web possa ser redimensionado até 200% sem que haja perda de conteúdo ou funcionalidade. Exemplo:

```

<!DOCTYPE html>
<html lang="pt-BR">
<head>

```

SUMÁRIO

```
<meta charset="UTF-8">
<meta name="viewport" content="width=device-width, initial-scale=1.0">
<title>Exemplo de Contraste e Redimensionamento</title>
<style>
  body {
    background-color: #ffffff; /* Fundo branco */
    color: #333333; /* Texto em cinza escuro para bom contraste */
    font-family: Arial, sans-serif; /* Fonte legível e amplamente usada */
    font-size: 1rem; /* Tamanho base de texto em unidades relativas */
    line-height: 1.6; /* Espaçamento adequado entre as linhas */
    max-width: 600px; /* Limita a largura para facilitar a leitura */
    margin: auto;
    padding: 1rem;
  }
  h1, h2 {
    color: #000000; /* Títulos em preto para maior contraste */
    font-size: 1.5rem; /* Títulos com tamanho relativo */
  }
  p {
    margin-bottom: 1rem; /* Espaçamento entre parágrafos */
  }
  nav a {
    margin-right: 1rem; /* Espaçamento entre links */
    color: #007acc; /* Cor do link em azul para diferenciá-los do texto */
    text-decoration: none; /* Remove sublinhado padrão */
  }
  nav a:hover {
    text-decoration: underline; /* Adiciona sublinhado ao passar o mouse */
  }
</style>
</head>
<body>
  <h1>Exemplo de Acessibilidade com Contraste e Redimensionamento</h1>
  <nav>
    <a href="#sobre">Sobre</a>
```

SUMÁRIO

```

        <a href="#pratica">Prática</a>
    </nav>
    <section id="sobre">
        <h2>Sobre</h2>
        <p>Este exemplo combina boas práticas web acessíveis, como contraste adequado e redimensionamento de texto.</p>
    </section>
    <section id="pratica">
        <h2>Prática de Redimensionamento</h2>
        <p>O texto nesta página pode ser redimensionado até 200% sem perda de conteúdo ou funcionalidade.</p>
    </section>
</body>
</html>

```

Todo o conteúdo audiovisual, isto é, imagem, áudio e vídeo, deve conter audiodescrição, transcrição e legenda. Além disso, recomenda-se a utilização de plugins para tradução dos conteúdos digitais para Libras; pensando nessa ação, recomendamos a utilização do plugin VLibras (c2025).

```

<!DOCTYPE html>
<html lang="pt-BR">
<head>
    <meta charset="UTF-8">
    <title>Imagem com Texto Alternativo e Vídeo com Legendas</title>
    <!-- Inclusão do VLibras -->
    <script src="https://vlibras.gov.br/app/vlibras-plugin.js"></script>
    <script>
        new window.VLibras.Widget("https://vlibras.gov.br/app");
    </script>
</head>
<body>
    <h1>Imagem com Texto Alternativo</h1>
    
    <h1>Vídeo Acessível</h1>

```

SUMÁRIO

```

<video controls>
  <source src="video.mp4" type="video/mp4">
  <track src="legendas.vtt" kind="subtitles" srclang="pt" label="Português">
</video>
<p>O vídeo acima contém legendas para auxiliar pessoas com deficiência auditiva.</p>
</body>
</html>

```

Os formulários devem fornecer uma sequência lógica nos campos, além da utilização de etiquetas que ajudem a explicar cada item, facilitando tanto a navegação como a compreensão do usuário. Exemplo:

```

<!DOCTYPE html>
<html lang="pt-BR">
<head>
  <meta charset="UTF-8">
  <title>Exemplo de Formulário Acessível</title>
  <style>
    input:focus, button:focus {
      outline: 2px solid #007acc; /* Destaque visível para foco */
    }
    .error {
      color: red;
      display: none;
    }
  </style>
</head>
<body>
  <h1>Formulário Acessível</h1>
  <form>
    <label for="nome">Nome:</label>
    <input type="text" id="nome" name="nome" placeholder="Digite seu nome completo" required><br>
    <span id="nomeError" class="error">Este campo é obrigatório.</span>
  </form>
</body>

```

SUMÁRIO

```

        <br><br>
    <label for="email">Email:</label>
    <input type="email" id="email" name="email" placeholder="Digite seu email" required><br>
    <span id="emailError" class="error">Por favor, insira um email válido.</span>
    <br><br>
    <button type="submit">Enviar</button>
</form>
</body>
</html>

```

As tabelas devem ser estruturadas de forma que sejam compreensíveis quando lidas de modo linear, utilizando títulos e descrições que expressem o conteúdo da tabela ao mesmo tempo que mantenham um fácil entendimento e compreensão pelo usuário. Exemplo:

```

<!DOCTYPE html>
<html lang="pt-BR">
<head>
    <meta charset="UTF-8">
    <meta name="viewport" content="width=device-width, initial-scale=1.0">
    <title>Exemplo de Tabela Acessível</title>
</head>
<body>
    <h1>Exemplo de Tabela Acessível</h1>
    <p>Esta tabela mostra um resumo básico do WCAG 2.2</p>

    <table>
        <caption>Princípios do WCAG 2.2</caption>
        <thead>
            <tr>
                <th scope="col">Perceptível</th>
                <th scope="col">Operável</th>
                <th scope="col">Compreensível</th>
                <th scope="col">Robusto</th>
            </tr>

```

SUMÁRIO

```

</thead>
<tbody>
  <tr>
    <td>Apresentar informações facilmente perceptível e entendível</td>
    <td>Navegabilidade de fácil manuseio</td>
    <td>Conteúdo disposto de maneira ser fácil compreendido</td>
    <td>Incorporar outras TA mantendo o conteúdo</td>
  </tr>
  <tr>
    <td>Alternativas textuais e audíveis</td>
    <td>Acessível por teclado</td>
    <td>Legível e Previsível</td>
    <td>Compatível</td>
  </tr>
  <tr>
    <td>Conteúdo Adaptável e Distinguível</td>
    <td>Tempo de uso e navegável</td>
    <td>Auxílio de entrada</td>
    <td>Agentes de usuários atuais e futuros</td>
  </tr>
</tbody>
</table>
</body>
</html>

```

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A acessibilidade beneficia todas as pessoas na sociedade. Assumimos essa premissa para este trabalho e acreditamos que todo site deve ser desenvolvido com base em ideias acessíveis. Desta maneira, estaremos contribuindo para a agregação das pessoas com deficiência na internet, ao mesmo tempo em que promovemos uma

mudança de mentalidade na sociedade. Pois, ao compreendermos que cada pessoa é singular e que as suas idiossincrasias são respeitadas, estamos partindo do princípio de que todos merecem ser tratados da mesma maneira.

As análises apresentadas por este capítulo defendem essa corrente de pensamento. Assim, dissertamos, na articulação conceitual, uma análise a respeito dos conceitos que alicerçam este trabalho, em seguida, analisamos as limitações que a deficiência impõe à pessoa com deficiência, bem como os impactos desta no acesso aos sites web. Em seguida, expomos alguns elementos que consideramos essenciais para a elaboração de um site web, os quais foram apresentados através de uma introdução às práticas web acessíveis para que profissionais na área de computação e afins possam se capacitar.

REFERÊNCIAS

BARBOSA, S.; SILVA, B. **Interação humano-computador**. [S. /]: Elsevier Brasil, 2010.

BERSCH, R. **Introdução à tecnologia assistiva**. Porto Alegre: CEDI, 2008. v. 21.

BRASIL. **Decreto nº 5.296, de 2 de dezembro de 2004**. Regulamenta as Leis nºs 10.048, de 8 de novembro de 2000, que dá prioridade de atendimento às pessoas que especifica, e 10.098, de 19 de dezembro de 2000, que estabelece normas gerais e critérios básicos para a promoção da acessibilidade [...]. Brasília, DF: Presidência da República, 2004. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/decreto/d5296.htm. Acesso em: 18 set. 2024

BRASIL. **Lei nº 13.146, de 6 de julho de 2015**. Institui a Lei Brasileira de Inclusão de Pessoas com Deficiência (Estatuto da Pessoa com Deficiência). Brasília, DF: Presidência da República, 2015. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2015/lei/l13146.htm. Acesso em: 18 set. 2024.

ESCOLA NACIONAL DE ADMINISTRAÇÃO PÚBLICA. Curso eMag Desenvolvedor. **Enap**, [2025]. Disponível em: <https://www.escolavirtual.gov.br/curso/42>. Acesso em 24 jul. 2025.

SUMÁRIO

GARCÍA, J. C. D. **Livro branco da tecnologia assistiva no Brasil**. São Paulo: ITS BRASIL, 2017.

MELO, A. M.; BARANAUSKAS, M. C. C. Design e avaliação de tecnologia web-acessível. /n: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE COMPUTAÇÃO, 25., 2005, São Leopoldo. **Anais [...]**. São Leopoldo: Unisinos, 2005. p. 1500-1544.

SALTON, B. P.; DALL AGNOL, A.; TURCATTI, A. **Manual de acessibilidade em documentos digitais**. Bento Gonçalves: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, 2017.

SASSAKI, R. K. Inclusão: acessibilidade no lazer, trabalho e educação. **Revista Nacional de Reabilitação (Reação)**, v. 12, n. 2, p. 10-16, 2009.

SONZA, A. P. *et al.* (org.). **Acessibilidade e tecnologia assistiva: pensando a inclusão sociodigital de PNEs**. Bento Gonçalves: IFSul, 2013.

VIGOTSKI, L. S. **Obras escogidas V**: fundamento de defectología. Madri: Machado Livros, 2012.

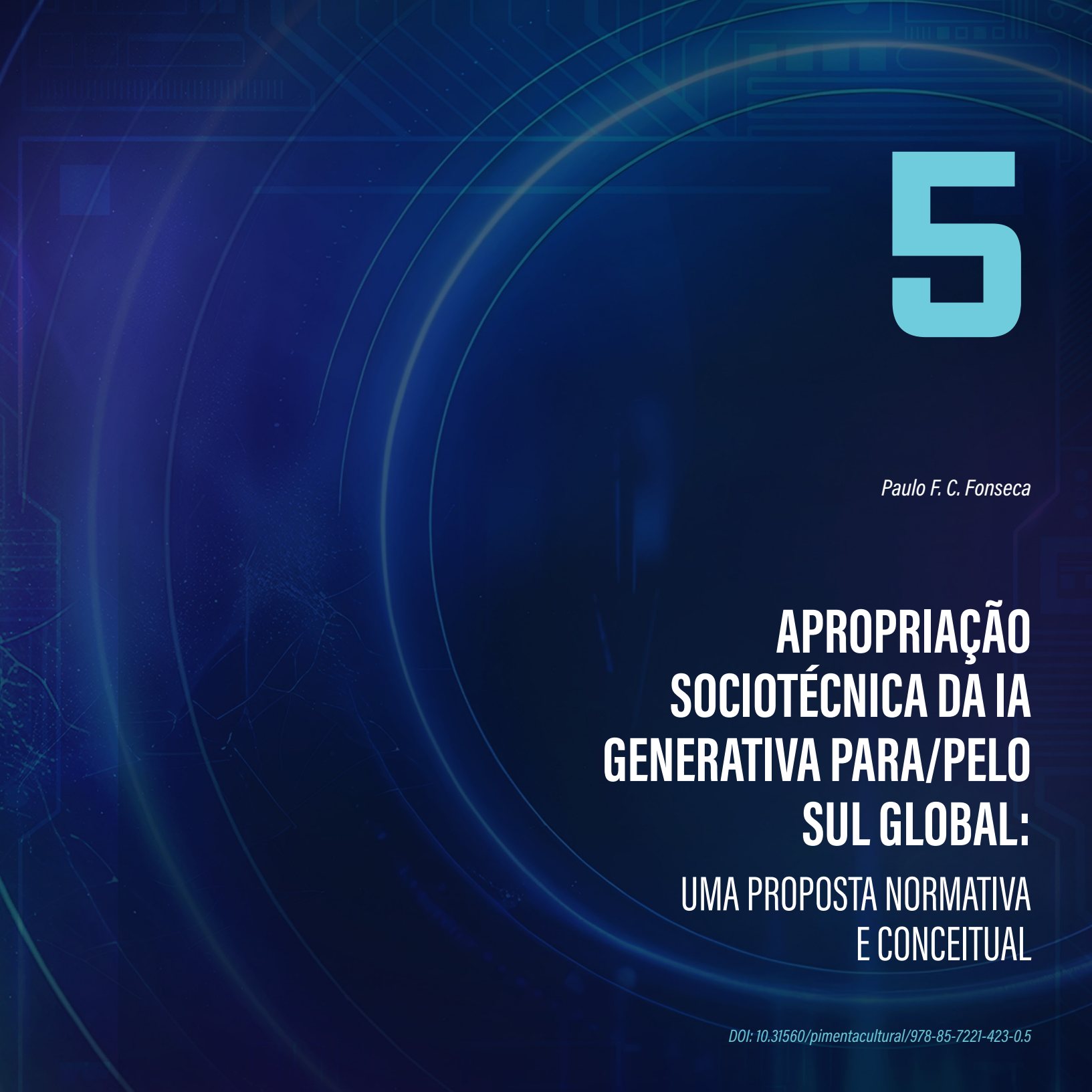
VIGOTSKI, L. S. **A construção do pensamento e da linguagem**. 2. ed. São Paulo: Martins Fontes, 2021.

VLIBRAS. **Gov.br**, c2025. Disponível em: <https://www.gov.br/governodigital/pt-br/acessibilidade-e-usuario/vlibras>. Acesso em: 24 jul. 2025.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. CID-11 para estatísticas de mortalidade e morbidade. **WHO**, [2024]. Disponível em: <https://icd.who.int/browse/2024-01/mms/pt>. Acesso em: 10 out. 2024.

WORLD WIDE WEB CONSORTIUM. Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.2. **W3C**, 2023. Disponível em: <https://www.w3.org/TR/WCAG22/>. Acesso em: 20 set. 2024.

WORLD WIDE WEB CONSORTIUM. Web Standards. **W3C**, 2024. Disponível em: <https://www.w3.org/standards/>. Acesso em: 30 set. 2024.



5

Paulo F. C. Fonseca

**APROPRIAÇÃO
SOCIOTÉCNICA DA IA
GENERATIVA PARA/PELO
SUL GLOBAL:
UMA PROPOSTA NORMATIVA
E CONCEITUAL**

DOI: 10.31560/pimentacultural/978-85-7221-423-0.5

SUMÁRIO

RESUMO:

Este capítulo apresenta a proposta da apropriação sociotécnica da Inteligência Artificial (IA) Generativa pelo e para o Sul Global, destacando como esta pode ser um caminho para a soberania digital e a tecnociência solidária. A ideia se fundamenta nas dimensões coletiva e individual do processo de apropriação dessas tecnologias, destacando como ambas são interdependentes e complementares. No âmbito coletivo, o texto discute como as regiões do Sul Global podem escapar da dependência tecnológica e das dinâmicas coloniais relacionadas ao uso da IA, incentivando que atores sociais locais desenvolvam políticas públicas robustas para a proteção de dados e a criação de infraestruturas tecnológicas autônomas e programas de educação que promovam um uso crítico e consciente da IA. Já na dimensão individual, ressalta-se a necessidade de que essas tecnologias sejam analisadas de forma crítica e adaptadas às necessidades particulares, assegurando a autonomia intelectual e o desenvolvimento de capacidades que permitam uma utilização criativa e emancipadora da IA.

INTRODUÇÃO

A Inteligência Artificial (IA) Generativa tem sido reconhecida como uma plataforma tecnológica potencialmente disruptiva para diversos campos do trabalho, desde a criação de conteúdos digitais até a automação de processos intelectuais complexos, como tradução de textos, geração de sons e imagens e programação de software (Silva *et al.*, 2024; Sabherwal; Grover, 2024; Sætra, 2023). Compreende-se como IA generativa, as “técnicas computacionais capazes de gerar novos conteúdos significativos, como textos, imagens ou áudios, a partir de dados de treinamento” (Feuerriegel *et al.*, 2024, p. 111). A IA generativa se destaca, não apenas pelas quantidades massivas de dados utilizados para o treinamento de grandes modelos de linguagem (LLM) e das capacidades obtidas de Processamento de Linguagem Natural (PLN), mas, sobretudo, porque ao contrário de outras formas de IA que limitam o aprendizado da máquina à classificação ou à análise de dados existentes, ela utiliza modelos que geram resultados que não estavam diretamente presentes nos dados de treinamento, mas que são construídos a partir deles. Trata-se de uma funcionalidade da IA que já vem ocupando terreno em diversas práticas culturais e econômicas e cujo debate sobre se ela se tornará muito influente ou não já não faz mais sentido (Sætra, 2023). No caso de países em desenvolvimento ou do Sul Global, a adoção destas novas tecnologias vem acompanhada de desafios específicos, relacionados sobretudo a um possível acirramento da dependência tecnológica e da falta de soberania sobre infraestruturas tecnológicas essenciais.¹

¹ Esta proposta adota a terminologia de Sul e Norte Global, ao invés de países desenvolvidos ou em desenvolvimento, por endossar a visão de que é preciso desmitificar as concepções hierárquicas de desenvolvimento que se fundamentam em uma fictícia linearidade temporal. O termo “Sul Global” transcende a geografia, referindo-se a uma construção sociopolítica e econômica que engloba países e regiões historicamente marginalizados nos sistemas globais de poder, e que estão em sua maioria, mas não necessariamente, localizados no Hemisfério Sul do globo, como América Latina, África e partes da Ásia e Oceania. Por outro lado, o conceito de “Norte Global” se refere ao conjunto de países, historicamente concentrados no Hemisfério Norte, mas que também engloba sociedades localizadas geograficamente no Hemisfério Sul, que representam as antigas metrópoles coloniais e hoje são as economias mais industrializadas e ricas do mundo (Santos, 2010).

SUMÁRIO

A história tecnológica tem mostrado que a simples importação de inovações do Norte Global pelo Sul Global, sem a transferência de conhecimento e a criação de capacidade inovativa, tende a reproduzir ou mesmo agravar assimetrias sociais (Marini, 1992). Isso é especialmente crucial no campo da IA, onde a produção, o treinamento e o controle dos dados e algoritmos que produzem essas tecnologias estão amplamente concentrados nas mãos de corporações e instituições do Norte, em uma hegemonia tecnológica que acentua a dependência dos países do Sul Global. Diante da hegemonia das chamadas *Big Techs* no capitalismo contemporâneo, as populações do Sul Global são situadas em posições subalternas, na medida em que, apesar de serem oficialmente classificadas como consumidoras, são elas as próprias fontes de produção dos dados coletados para geração de valor para as grandes empresas de tecnologia (Morozov, 2018).

Essa dependência reflete dinâmicas de poder enraizadas na história do colonialismo, mas que agora se manifestam em formas contemporâneas de exploração tecnológica. Trata-se do que Couldry e Mejias (2019) chamam de colonialismo de dados, referindo-se às práticas de extração de dados realizadas por empresas globais que refletem as antigas formas de exploração colonial. As populações do Sul Global fornecem dados utilizados para treinar sistemas de IA, que são transformados em produtos e serviços por corporações no Norte Global, fazendo com que nenhum retorno significativo seja obtido pelas comunidades de onde os dados foram obtidos. Além disso, as infraestruturas que sustentam essas tecnologias, como centros de dados e redes de telecomunicação, são controladas por um número reduzido de atores globais, o que limita ainda mais a autonomia tecnológica dos países do Sul Global. Isso resulta em uma forma contemporânea de colonialismo tecnológico, onde o valor gerado pela IA, tanto econômico quanto social, é concentrado fora das regiões que fornecem os recursos essenciais para seu funcionamento, como dados, mão de obra e minerais necessários para a produção de hardware (Crawford, 2021).

SUMÁRIO

Diante desse cenário, é preciso explorar como as sociedades do Sul Global podem se apropriar dessas tecnologias de maneira crítica e transformadora, sem cair nas armadilhas da dependência tecnológica ou da reprodução de dinâmicas colonialistas. Com este objetivo, este capítulo apresenta uma proposta normativa e conceitual baseada no ideal de uma apropriação sociotécnica da IA generativa pelo/para o Sul Global. O conceito de apropriação sociotécnica advém dos estudos sobre ciência, tecnologia e sociedade (Jasanoff, 2004), e, mais particularmente, da compreensão da construção social dos sistemas tecnológicos, que sustenta que as tecnologias não são neutras ou determinadas apenas por fatores técnicos, mas moldadas por fatores sociais, econômicos e políticos (Bijker; Hughes; Pinch, 1987). Assim, a proposta é que as populações do Sul Global possam não apenas adotar essas tecnologias, mas compreendê-las e transformá-las de acordo com suas necessidades locais.

O presente capítulo explorará os fundamentos conceituais da apropriação sociotécnica no contexto da IA generativa, discutindo como essas tecnologias podem ser transformadas em instrumentos de soberania e justiça social no Sul Global. A seguir, debateremos as origens teóricas e contextuais da proposta da apropriação sociotécnica, a partir de suas dimensões coletiva e individual. No plano coletivo, discute-se, de forma mais detida, como esta proposta busca resistir ao colonialismo de dados e garantir a soberania tecnológica, considerando uma tecnociência solidária que contemple a materialidade das infraestruturas de IA. Em sua dimensão individual, é trazida uma reflexão sobre práticas gerais a serem seguidas para um uso crítico das ferramentas de IA generativa. Como as tecnologias estão em constante mutação e, conforme veremos, disputas por ressignificações, optou-se por apresentar, neste capítulo, princípios fundamentais que independem da funcionalidade específica em si. Uma reflexão mais aprofundada sobre ferramentas específicas deverá ser material para oficinas atualizadas sobre a apropriação das ferramentas de IA generativa acessíveis em cada momento.

APROPRIAÇÃO SOCIOTÉCNICA DA IA GENERATIVA: UMA ABORDAGEM MULTIDIMENSIONAL

Em um estudo clássico sobre a construção social da tecnologia, Bijker, Hughes e Pinch (1987) desafiam a noção de que o desenvolvimento tecnológico é guiado apenas por fatores técnicos ou científicos, como eficiência, custo, ergonomia etc. Em vez disso, os autores apontam uma série de evidências, como no conhecido caso do desenvolvimento da bicicleta, sobre como as tecnologias são moldadas, sobretudo, por processos sociais, políticos e culturais. Assim, as tecnologias não surgem de maneira neutra, mas refletem os interesses e as necessidades dos grupos sociais envolvidos. Segundo essa perspectiva, os artefatos tecnológicos são resultados de negociações e conflitos entre grupos sociais com valores e interesses distintos, o que implica que tecnologias como a IA generativa, inicialmente concebidas para contextos altamente industrializados, podem ser ressignificadas para atender às demandas específicas do Sul Global, desde que haja uma mobilização ativa para tal reconfiguração. Assim, a apropriação sociotécnica parte da contestação da ideia de que as tecnologias são universalmente aplicáveis e evidencia que as tecnologias são interpretadas e utilizadas de formas diversas por diferentes grupos sociais.

O termo “apropriação” tem suas raízes na etimologia latina, derivando de *appropriare*, que significa “tomar como próprio”. Segundo o Dicionário Houaiss, apropriar-se pode ter dois significados principais: tomar posse e tornar adequado (Houaiss, 2024). Esses dois sentidos refletem as dimensões coletiva e individual do processo de apropriação sociotécnica. A primeira, “tomar posse”, envolve o seu caráter institucional, social ou político, na qual comunidades, governos ou grupos sociais tomam controle de uma tecnologia e moldam

SUMÁRIO

suas infraestruturas e políticas. A segunda, “tornar conveniente ou adequado”, refere-se à dimensão individual, subjetiva e pragmática, que trata da capacidade de cada usuário de compreender, criticar e adaptar a tecnologia para atender às suas próprias necessidades e contexto, mas também para que a efetiva posse, em seu plano coletivo ou institucional, possa ser viabilizada.

Sætra (2023) aponta três níveis de preocupações a serem consideradas em relação à IA generativa. Segundo o autor, no nível macro, estão inquietações em relação aos riscos para as sociedades como um todo, incluindo riscos à democracia, ao emprego, à cultura e ao meio ambiente. Já no nível meso, a IA generativa pode provocar mudanças drásticas nas relações de poder, além de promover a extração indevida de dados e potencialmente promover sistemas enviesados e discriminatórios. No nível micro, encontram-se preocupações relacionadas aos impactos para os indivíduos diretamente, como os riscos de atrofia cognitiva, propensão à manipulação e fechamento para relações pessoais. Assim, a apropriação sociotécnica se dirige, em sua dimensão coletiva, às preocupações de nível macro e meso apontadas por Sætre, isto é, para as possíveis implicações indesejáveis para as sociedades, economias e culturas locais. Já o nível micro contempla as questões relacionadas ao que aqui se denomina dimensão individual da apropriação sociotécnica.

Ambas as dimensões são fundamentais e interdependentes para uma apropriação crítica e soberana de tecnologias como a inteligência artificial generativa, uma vez que a transformação e a adaptação dessas tecnologias requerem esforços em múltiplos níveis. Embora o foco frequentemente recaia sobre o papel das políticas públicas e das instituições na promoção da soberania digital e da justiça tecnológica, é igualmente importante reconhecer a ação dos indivíduos e das comunidades locais na reconfiguração dessas tecnologias. Deste modo, as dimensões coletivas e individuais da apropriação sociotécnica são ambas essenciais para que o Sul Global possa resistir às dinâmicas de dependência tecnológica e construir

SUMÁRIO

caminhos de soberania e emancipação coletiva e individual. A seguir, vamos apresentar algumas fundamentações teóricas para se pensar nos significados e nas implicações da apropriação sociotécnica generativa no ponto de vista coletivo e individual das populações dos países do Sul Global.

A DIMENSÃO COLETIVA DA APROPRIAÇÃO: TOMANDO POSSE DE NOVAS TECNOLOGIAS

Para uma melhor compreensão da importância da dimensão coletiva do processo de apropriação sociotécnica da IA generativa pelo/para o Sul Global, cabe destacar a noção de “colonialismo de dados”, desenvolvida por Nick Couldry e Ulises Mejias (2019). O conceito contribui para a compreensão do capitalismo contemporâneo, também chamado de capitalismo de vigilância (Zuboff, 2021), capitalismo de dados (West, 2019) ou capitalismo de plataforma (Srnicek, 2017). Como colonialismo de dados, entende-se que vivemos, atualmente, um novo regime de exploração de países historicamente colonizados do Sul Global, no qual os dados se tornam o principal recurso extraído de populações marginalizadas, de forma semelhante ao que ocorreu com a extração de matérias-primas durante o período colonial. No contexto da Inteligência Artificial (IA) Generativa, o colonialismo de dados se manifesta pela extração de grandes quantidades de informações de usuários em todo o mundo, mas especialmente do Sul Global, muitas vezes sem consentimento, transparência ou retorno direto para as populações afetadas. Esses dados são posteriormente utilizados para o desenvolvimento de tecnologias avançadas de IA, que geram lucros e benefícios para corporações multinacionais baseadas no Norte Global.

O colonialismo de dados está intrinsecamente ligado às dinâmicas históricas de exploração e subordinação, nas quais as regiões do Sul Global têm sido relegadas ao papel de fornecedoras

de recursos para o desenvolvimento econômico e tecnológico do Norte Global (Mignolo, 2017). No caso dos dados, o processo é muitas vezes invisível, pois as populações não têm controle direto sobre a forma como suas informações são coletadas, processadas ou utilizadas. As grandes corporações que controlam as plataformas digitais e os algoritmos de IA operam de forma que a coleta de dados parece ser uma parte inevitável da participação nas redes digitais globais, o que torna essa extração um processo quase naturalizado (Couldry; Mejias, 2019).

Esse processo de extração de dados pode ser entendido como uma nova forma de capitalismo, na qual a vigilância é a principal atividade que gera valor dentro da economia digital, sob o custo do controle e da influência na vida cotidiana das populações do Sul Global, monitorando e controlando suas atividades e interações cada vez mais digitalizadas, e utilizando os dados para desenvolver tecnologias de IA que beneficiam majoritariamente as corporações e economias do Norte (Zuboff, 2021). O retorno econômico e social para as populações cujos dados são explorados é mínimo, se não inexistente. Enquanto as corporações globais lucram com o uso desses dados, as populações do Sul Global permanecem vulneráveis à vigilância, ao controle e à exploração digital (Boyd; Crawford, 2012).

Além disso, o colonialismo de dados também está profundamente conectado às dinâmicas de poder e controle social. Governos autoritários ou com regimes políticos frágeis podem usar tecnologias de IA desenvolvidas com base em dados locais para monitorar, vigiar e controlar suas populações. Sistemas de IA usados para vigilância, reconhecimento facial e monitoramento de redes sociais podem reforçar o controle político e a repressão em países do Sul Global, perpetuando regimes autoritários (Innerarity, 2024). Em vez de promover a emancipação e a autonomia tecnológica, o uso dessas tecnologias para fins de vigilância fortalece as dinâmicas de dominação e exclusão social, exacerbando as desigualdades preexistentes (Noble, 2018).

SUMÁRIO

As infraestruturas de dados que sustentam essas práticas de extração e vigilância são controladas por um pequeno número de empresas e governos do Norte Global. Essas infraestruturas incluem centros de dados, cabos submarinos e dispositivos diversos, que permitem a coleta e o processamento em larga escala de informações provenientes de usuários de todo o mundo. No entanto, a falta de controle sobre essas infraestruturas por parte dos países do Sul Global significa que suas populações permanecem vulneráveis ao colonialismo de dados, sem mecanismos eficazes para proteger suas informações ou garantir que os benefícios econômicos e sociais gerados pelo uso desses dados sejam compartilhados de forma justa.

O processo de apropriação sociotécnica pode ser visto, portanto, como uma via para enfrentar as dinâmicas de exploração impostas pelo colonialismo de dados. Para isso, é necessário que as populações e os governos do Sul Global assumam um papel ativo na criação de infraestruturas de dados soberanas, desenvolvendo regulamentações e políticas públicas que protejam os direitos dos cidadãos em relação à coleta e ao uso de seus dados. Além disso, conforme veremos, uma apropriação crítica das tecnologias de IA generativa exige que essas populações sejam capacitadas para entender como seus dados estão sendo utilizados e para exigir maior transparência e controle sobre o uso dessas informações, o que requer políticas adequadas de educação digital.

A soberania sobre os dados é, portanto, um elemento central para a autonomia tecnológica do Sul Global. Soberania digital, nesse contexto, refere-se à capacidade de um Estado ou população controlar suas próprias infraestruturas digitais, regular o uso de dados de maneira soberana e garantir que as tecnologias sejam utilizadas para o bem comum, e não apenas para o lucro de corporações estrangeiras (Belli, 2023). No caso da Inteligência Artificial (IA) generativa, a soberania digital se torna ainda mais crítica, considerando o papel central dos dados no treinamento e na operação dessas tecnologias.

SUMÁRIO

SUMÁRIO

No Sul Global, a falta de soberania digital é um desafio significativo, uma vez que a maioria das infraestruturas digitais, plataformas de processamento de dados e até os algoritmos utilizados para IA são controlados por multinacionais do Norte Global (Couldry; Mejias, 2019). Essas corporações não apenas detêm o monopólio sobre as infraestruturas necessárias para o funcionamento da IA, mas também exercem uma influência desproporcional sobre as políticas e a economia de dados nos países do Sul. Isso gera uma dependência tecnológica, na qual as nações do Sul Global são incapazes de exercer pleno controle sobre seus recursos digitais, que são fundamentais para o desenvolvimento de suas próprias inovações tecnológicas. Para superar essa dependência, a apropriação sociotécnica deve perseguir a soberania digital como um caminho para garantir que as populações e os governos do Sul Global possam desenvolver infraestruturas locais que permitam o armazenamento, o processamento e o uso de dados de maneira soberana. A soberania digital, portanto, não se refere apenas ao controle técnico sobre a infraestrutura, mas também à capacidade de formular e implementar políticas públicas que protejam os direitos dos cidadãos em relação à privacidade e ao uso de seus dados (Morales; Reilly, 2022).

Por outro lado, a construção da soberania digital também se conecta diretamente ao conceito de tecnociência solidária, que enfatiza a necessidade de desenvolver tecnologias com foco no bem-estar coletivo e na justiça social. Inspirada em abordagens críticas da ciência e da tecnologia, a tecnociência solidária propõe que as inovações tecnológicas devem ser orientadas por valores de inclusão, participação e solidariedade, em vez de atender aos interesses do capital global (Dagnino, 2019). No Sul Global, a tecnociência solidária se apresenta como uma alternativa viável à tecnociência dominante, que frequentemente privilegia os interesses do Norte Global, marginalizando as necessidades e as perspectivas locais.

Renato Dagnino (2019), ao discutir a construção de uma plataforma cognitiva para uma ciência e tecnologia orientadas pelas

SUMÁRIO

aspirações do Sul, enfatiza que as inovações tecnológicas não podem ser vistas como neutras ou universais. Em vez disso, elas devem ser desenvolvidas em diálogo com as realidades locais e as vozes das populações afetadas. Esse princípio está no cerne da tecnociência solidária, que reconhece que as tecnologias devem ser apropriadas e reconfiguradas de acordo com as necessidades de justiça social e inclusão (Dagnino, 2019). A tecnociência solidária, nesse sentido, é uma abordagem crítica ao desenvolvimento de tecnologias, incluindo a IA generativa, que reconhece as dinâmicas de poder e exclusão inerentes aos processos de inovação globais. Ao invés de simplesmente importar tecnologias desenvolvidas no Norte Global, a tecnociência solidária exige que essas tecnologias sejam adaptadas às realidades culturais, sociais e econômicas do Sul Global, promovendo autonomia e emancipação tecnológica.

Um dos principais desafios para o Sul Global no desenvolvimento de soberania digital e tecnociência solidária é a criação de infraestruturas locais que sejam capazes de competir com as grandes plataformas tecnológicas globais. Isso inclui desde a criação de centros de dados locais até a formação de parcerias regionais que incentivem a troca de conhecimento e o desenvolvimento de soluções tecnológicas autônomas. A construção dessas infraestruturas e a formulação de políticas públicas robustas são passos fundamentais para garantir que as populações do Sul Global possam exercer controle sobre seus próprios dados e tecnologias.

Além disso, a tecnociência solidária enfatiza a importância da participação das comunidades locais no desenvolvimento e na governança das tecnologias (Dagnino, 2019). Para que a apropriação sociotécnica da IA generativa seja efetiva, é necessário que as populações do Sul Global sejam ativamente envolvidas no processo de criação, adaptação e implementação dessas tecnologias. Isso implica não apenas em capacitar tecnicamente as populações, mas também em promover uma educação crítica sobre os impactos sociais, políticos e éticos das tecnologias digitais, garantindo que as vozes locais

tenham um papel central na formulação das inovações. Portanto, para que o Sul Global possa se apropriar de tecnologias de IA de maneira crítica e transformadora, é crucial que a soberania digital seja construída sobre as bases de uma tecnociência orientada pela solidariedade e pela justiça social. Somente através desse processo será possível garantir que as inovações tecnológicas promovam o bem comum e a autonomia das populações, em vez de perpetuar as desigualdades globais.

A discussão sobre soberania digital e tecnociência solidária nos leva a outro aspecto crucial da apropriação sociotécnica da Inteligência Artificial (IA) Generativa em sua dimensão coletiva: a materialidade que sustenta essas tecnologias. Conforme aponta a pesquisadora Kate Crawford (2021), embora frequentemente descritas como inovações imateriais, que funcionam no ciberespaço, as tecnologias de IA, em especial as generativas, são dependentes de infraestruturas materiais complexas, que incluem centros de dados, redes de telecomunicações e, principalmente, recursos naturais necessários para produzir os componentes tecnológicos que as alimentam. Nesse contexto, a extração de minerais e a exploração de mão de obra nas regiões do Sul Global criam uma continuidade das dinâmicas coloniais históricas, levando ao que pode ser descrito como colonialismo de recursos.

A IA generativa, assim como muitas tecnologias digitais avançadas, depende de grandes quantidades de energia e de uma vasta rede de servidores, que exigem não apenas o consumo contínuo de eletricidade, mas também a presença de materiais raros e valiosos, como lítio, cobalto e outros metais usados na fabricação de componentes eletrônicos e baterias. Esses materiais são frequentemente extraídos de países do Sul Global, como a República Democrática do Congo, a Bolívia e o Brasil, regiões onde as práticas de extração mineral têm gerado impactos sociais e ambientais devastadores (Crawford, 2021). A exploração dessas matérias-primas para a produção de tecnologias digitais reflete as continuidades do

SUMÁRIO

modelo colonial, no qual os recursos naturais do Sul eram (e ainda são) apropriados para promover o desenvolvimento e o enriquecimento das potências econômicas globais.

A manutenção das dinâmicas coloniais de expropriação de recursos é, portanto, uma parte fundamental das dinâmicas globais de poder que sustentam o desenvolvimento da IA generativa. A extração de minerais em condições de trabalho precárias e a destruição ambiental causada pela mineração são externalidades invisíveis no discurso de inovação digital que celebra os benefícios da IA. No entanto, para as populações do Sul Global, que estão na linha de frente dessas práticas de exploração, a relação entre o desenvolvimento tecnológico no Norte e a degradação de seus ecossistemas e comunidades é clara e direta. Além da extração de minerais, as infraestruturas de dados que suportam a IA generativa também dependem de grandes centros de dados, compostos por redes de supercomputadores que consomem uma quantidade imensa de eletricidade (Crawford, 2024). Ainda que, atualmente, os centros de dados que armazenam e processam as informações que alimentam os sistemas de IA estejam concentrados em poucas regiões do Norte Global, parte das externalidades deste consumo são refletidas em contextos do Sul Global, na medida em que as consequências das mudanças climáticas também se fazem sentir de forma mais dramática nestas regiões (Ngcamu, 2023). Assim, enquanto o fluxo nos grandes centros de dados continua aumentando à medida que mais tecnologias de IA são implementadas, crescentes quantidades de energia tornam-se necessárias para manter os servidores funcionando e refrigerados. Isso resulta em uma pegada ecológica significativa, muitas vezes deslocada para regiões do Sul Global, onde a geração de eletricidade é mais barata, mas frequentemente à custa de danos ambientais irreversíveis. O crescimento da IA generativa, portanto, não pode ser separado das questões de materialidade e do impacto ambiental e social que essas infraestruturas impõem às populações do Sul Global.

SUMÁRIO

SUMÁRIO

A dependência de infraestruturas materiais e recursos naturais reforça a centralidade das novas formas de colonialismo nas discussões sobre a IA generativa e o Sul Global. Assim como no período colonial dos séculos XVIII a XX, quando as potências globais extraíam recursos do Sul para alimentar suas economias, o Norte Global continua a extrair valor do Sul Global, desta vez sob a forma de dados, minerais e trabalho (Morozov, 2013). O desenvolvimento de tecnologias avançadas, como a IA generativa, é possível devido a essa rede de exploração global, que mantém o Sul Global em uma posição de dependência e subordinação.

A articulação entre dados, infraestruturas e recursos naturais é, portanto, um eixo fundamental para compreender como a materialidade das infraestruturas de IA conecta o digital ao físico, o local ao global, o Norte ao Sul. A apropriação sociotécnica dessas tecnologias pelo Sul Global precisa, portanto, incluir uma compreensão crítica dessas interdependências e a construção de soluções que não apenas desafiem a dependência tecnológica, mas também promovam uma governança mais justa e sustentável das infraestruturas e dos recursos naturais.

A busca pela soberania tecnológica e pela implementação de uma tecnociência solidária, portanto, deve levar em conta a materialidade dessas tecnologias. Isso implica em promover a sustentabilidade na extração de recursos, em exigir condições de trabalho dignas nas indústrias de tecnologia e em buscar alternativas energéticas que minimizem o impacto ambiental da IA generativa. A construção de infraestruturas digitais locais, como centros de dados que utilizem fontes de energia renovável, é uma das maneiras pelas quais o Sul Global pode resistir às dinâmicas coloniais impostas pelo desenvolvimento tecnológico global.

Assim, é necessário reconhecer que a apropriação sociotécnica da IA generativa, para ser efetiva, deve estar ligada a uma transformação nas relações globais de poder. A soberania tecnológica e

digital só será possível se os países do Sul Global forem capazes de controlar suas próprias infraestruturas e, ao mesmo tempo, garantir que o desenvolvimento de suas economias digitais ocorra de maneira justa e sustentável, sem repetir as dinâmicas de exploração que marcaram o colonialismo histórico.

A apropriação sociotécnica da IA generativa depende fundamentalmente da capacidade de governos, universidades, organizações da sociedade civil e outras instituições locais se mobilizarem para desenvolver e controlar suas próprias infraestruturas tecnológicas. Isso inclui a criação de centros de dados, a implantação de políticas de incentivo à pesquisa e ao desenvolvimento e a promoção de iniciativas de educação tecnológica e regulações que protejam a soberania digital, os direitos de privacidade das populações e a sustentabilidade socioambiental dos ecossistemas locais.

As universidades e centros de pesquisa desempenham um papel fundamental na dimensão coletiva da apropriação sociotécnica, uma vez que são os principais agentes na formação de uma força de trabalho tecnicamente capacitada. Ao promover programas de educação tecnológica, que incluam desde a alfabetização digital básica até a formação em desenvolvimento de IA, essas instituições ajudam a garantir que as populações locais não sejam apenas consumidoras passivas das inovações tecnológicas, mas também agentes na criação e na adaptação dessas tecnologias.

Além disso, as políticas de cooperação regional entre países do Sul Global também podem ser essenciais para fortalecer a apropriação sociotécnica de maneira coletiva. Iniciativas de colaboração tecnológica entre países da América Latina, da África e da Ásia podem promover a troca de conhecimento e recursos, além de fortalecer a capacidade regional de desenvolver e implementar tecnologias de maneira soberana. A construção de infraestruturas de dados regionais, por exemplo, pode reduzir a dependência de infraestruturas externas, enquanto parcerias acadêmicas e de pesquisa podem promover inovações tecnológicas mais alinhadas às realidades e às necessidades do Sul Global.

SUMÁRIO

A DIMENSÃO INDIVIDUAL: ADEQUANDO SOCIOTECNICAMENTE A IA GENERATIVA

Em sua dimensão individual, a apropriação sociotécnica envolve a capacidade dos indivíduos de se engajarem de maneira crítica e ativa com as tecnologias de IA generativa. Isso vai além da simples utilização de ferramentas disponíveis e implica na capacidade de entendimento, adaptação, modificação e criação de soluções sociotécnicas que atendam às necessidades e aos contextos particulares. Ferramentas como ChatGPT, Gemini, Claude e Llama, por exemplo, podem ser utilizadas de maneiras criativas para promover a aprendizagem e resolver problemas específicos no trabalho e no cotidiano, desde que os indivíduos e os grupos tenham a capacidade técnica e a autonomia para compreender o funcionamento da tecnologia, identificando, a partir de suas limitações e possibilidades, como ela pode contribuir para um determinado objetivo.

A aprendizagem desempenha, neste sentido, um papel central nesse processo. Uma pessoa, para se apropriar desta tecnologia, deve utilizá-la sobretudo como auxílio para a sua própria formação. Isso implica em adotar uma visão crítica sobre os vieses embutidos nas saídas ou nos resultados oriundos dos algoritmos de IA, que muitas vezes podem conduzir para conteúdos que, não apenas se distanciam do que se deseja realmente conhecer ou expressar, mas refletem ideologias ou preconceitos presentes nos dados com os quais esses sistemas foram treinados (Noble, 2018). A capacidade de uso crítico e criativo dessas tecnologias pode permitir que indivíduos e comunidades transformem ferramentas de IA generativa, como assistentes de texto e plataformas de geração de conteúdo, em instrumentos que atendam às demandas locais.

Portanto, a dimensão individual da apropriação sociotécnica envolve não apenas a habilidade técnica de se extrair dessas ferramentas resultados efetivamente úteis para demandas individuais,

mas também a capacidade de compreender criticamente seu funcionamento. A construção deste texto, por exemplo, se valeu de um uso crítico do ChatGPT, para que ele auxiliasse no refinamento de ideias relacionadas à proposta normativa de apropriação sociotécnica de ferramentas de IA generativa, como o próprio ChatGPT.

Nesse contexto, é fundamental que o uso de ferramentas de IA generativa seja feito orientado pela autonomia intelectual. Isso inclui compreender as limitações, os vieses e as potencialidades dessas tecnologias, para que possam ser utilizadas como instrumentos de emancipação e não de dominação. Como os modelos de IA são treinados com grandes volumes de dados, eles tendem a reproduzir os preconceitos e as desigualdades presentes nesses dados. Estudos como o de Noble (2018), que discute como algoritmos de IA em geral podem reforçar opressões sistêmicas, são fundamentais para que usuários do Sul Global possam utilizar essas ferramentas de forma consciente e crítica. Saber que o modelo pode refletir preconceitos estruturais é um passo importante para garantir que suas saídas sejam interpretadas com cautela e, se necessário, corrigidas ou adaptadas para se alinhar melhor aos interesses locais. Foi exatamente este o caso deste texto, que se valeu de interações com a ferramenta, mas que foram posteriormente selecionadas, analisadas e modificadas para que melhor atendessem aos objetivos do trabalho.

Esse olhar crítico sobre as inovações tecnológicas revela que elas precisam ser vistas a partir dos contextos específicos de seus usuários, reconhecendo que cada modelo carrega consigo suas normatividades e perspectivas que podem não condizer com as necessidades subjetivas ou locais. O uso crítico, portanto, pede por uma adaptação consciente das respostas geradas pela IA, para que elas possam servir como ferramentas para a expressão de perspectivas próprias, não de reprodução de vieses e concepções hegemônicas.

Assim, apropriar-se subjetivamente destas ferramentas demanda garantir que o conteúdo gerado por elas seja utilizado

SUMÁRIO

SUMÁRIO

como um meio de expressar ideias próprias e não de replicar estereótipos, clichês ou mesmo desinformações. É possível utilizar um assistente como o ChatGPT, por exemplo, para organizar ideias, elaborar esboços de texto e sugerir caminhos para uma discussão, mas o conteúdo final deve refletir a autonomia intelectual do usuário. Da mesma forma, essas ferramentas baseadas em grandes modelos de linguagem podem ser utilizadas como assistentes de programação, auxiliando na aprendizagem para a construção de soluções específicas ou para a automação de tarefas mais simples, mas não substituem a avaliação humana das soluções alcançadas. Isso significa que as respostas geradas por estes assistentes devem sempre ser vistas como um ponto de partida para a reflexão e a elaboração pessoal, e não como uma verdade inquestionável ou a expressão final do pensamento. É fundamental que o usuário seja ativo na curadoria das informações, utilizando as saídas da IA para estruturar suas próprias ideias e refinar seus argumentos.

Desta forma, ferramentas de IA generativa como o ChatGPT podem, quando usadas de forma crítica, contribuir para a emancipação intelectual, especialmente em contextos onde o acesso a recursos educacionais e informacionais é limitado. No Sul Global, onde muitas vezes há uma escassez de bibliotecas e outros recursos acadêmicos, as atuais ferramentas disponíveis de IA generativa podem servir como auxílio para se ampliar o acesso ao conhecimento, desde que as informações fornecidas sejam verificadas e utilizadas de forma consciente. Isso pode se dar, por exemplo, no acesso a textos em outros idiomas, na medida em que a capacidade de tradução destas ferramentas pode viabilizar a apropriação de conhecimentos até então inacessíveis a seus usuários. No entanto, a possibilidade de acessar conteúdos em outros idiomas não substitui a fluência e o domínio linguístico por parte dos sujeitos, que ainda vão precisar interagir e lidar com situações nas quais as saídas das ferramentas de IA não apenas não serão suficientes, mas podem, por vezes, inviabilizar uma comunicação ou troca efetiva entre indivíduos.

SUMÁRIO

Assim, apropriar-se significa não apenas saber como usar a tecnologia, mas sobretudo compreender os mecanismos que a sustentam, como os algoritmos, os dados e as implicações éticas de seu uso. Para garantir que as populações do Sul Global possam se apropriar criticamente dessas ferramentas, é necessário investir em educação tecnológica que promova a reflexão crítica sobre o uso dessas tecnologias. Esta educação deve promover um uso consciente e responsável, que atente para os riscos de que as tecnologias, ao contrário de promoverem a capacitação individual, gerem ainda mais dependência intelectual por parte de seus usuários. É preciso aprender a utilizar estas ferramentas para conquistar a autonomia, o pensamento crítico e a independência.

Como apontado por Dagnino (2018), o desenvolvimento de uma tecnociência efetivamente solidária requer um sistema socio-técnico no qual as tecnologias sejam utilizadas de maneira a fortalecer a autonomia local. Uma educação digital crítica é uma ferramenta essencial nesse processo, garantindo que os usuários possam questionar, adaptar e moldar as tecnologias de acordo com suas próprias perspectivas e necessidades. Assim, as próprias interações com as ferramentas podem ser um caminho para um entendimento sobre como se dão os processos de interpretação de perguntas e elaboração de respostas, de modo a se obter maior segurança sobre as fundamentações e a confiabilidade das informações obtidas.

O uso crítico da IA generativa é, portanto, uma parte fundamental da apropriação sociotécnica em sua dimensão individual. Como ferramenta, a IA generativa pode ser uma aliada poderosa para a expressão de ideias próprias, desde que seja utilizada com consciência de suas limitações e vieses. A soberania intelectual no uso dessas tecnologias exige uma prática ativa de curadoria e adaptação das saídas da IA, alinhada aos valores e às realidades locais do Sul Global.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao longo deste capítulo, exploramos alguns fundamentos conceituais da proposta de apropriação sociotécnica da IA generativa pelo/para o Sul Global, ressaltando tanto sua dimensão coletiva quanto individual. Desde a introdução do termo “apropriar-se”, com base nas acepções propostas pelo Dicionário Houaiss — tomar posse e tornar adequado —, vimos como essas duas dimensões refletem as estratégias de reconfiguração e adaptação da tecnologia pelas populações do Sul Global.

No plano coletivo, destacamos a importância de tomar posse das infraestruturas tecnológicas e dos dados. Isso inclui a luta contra as práticas contemporâneas de colonialismo, tanto em relação a dados quanto a recursos naturais, que ainda afetam profundamente os países do Sul Global. A exploração dos dados e dos recursos minerais, essenciais para as infraestruturas de IA, mantém um ciclo de dependência tecnológica e econômica. Além disso, o controle por grandes corporações tecnológicas sobre as infraestruturas digitais, conforme apontado por Zuboff (2021), reforça a centralidade da luta pela soberania digital. A partir dessa perspectiva, examinamos também o conceito de tecnociência solidária, proposto por Renato Dagnino (2019), que sugere que as inovações tecnológicas devem ser orientadas por princípios de justiça social e emancipação, e não pelos interesses do mercado global.

No plano individual, a apropriação da IA generativa envolve tornar adequado o uso dessas tecnologias, permitindo que os indivíduos utilizem as ferramentas de forma crítica e autônoma. Esse processo é essencial para garantir que a IA não seja apenas uma ferramenta imposta de fora, mas um meio que as populações possam utilizar para expressar suas ideias e moldar as tecnologias de acordo com suas realidades. A importância de um uso crítico da IA generativa foi sublinhada a partir do pressuposto de que a educação

para a apropriação deve incluir o incentivo ao desenvolvimento das capacidades de questionar e adaptar-se a estas ferramentas tecnológicas, para que essas sejam instrumentos efetivos de emancipação intelectual.

As dimensões coletivas e individuais da apropriação sociotécnica não operam de maneira isolada, mas se interdependem e reforçam mutuamente. A criação de infraestruturas tecnológicas soberanas e a formulação de políticas públicas eficazes são fundamentais para capacitar os indivíduos e garantir que tenham as ferramentas e os recursos necessários para se apropriar criticamente das tecnologias de IA. Por outro lado, a participação ativa e crítica dos indivíduos é essencial para que a dimensão coletiva da apropriação sociotécnica seja bem-sucedida, uma vez que as políticas e as infraestruturas devem ser moldadas de acordo com as realidades e as necessidades locais, que só podem ser plenamente compreendidas através do engajamento direto das populações afetadas (Dagnino, 2019).

A apropriação sociotécnica da IA generativa pelo Sul Global não é um processo passivo, mas uma dinâmica ativa de reconfiguração tecnológica que se desenrola tanto em nível coletivo quanto individual. Ao integrar conceitos como soberania digital e tecnociência solidária, mostramos que essa apropriação exige uma luta por infraestruturas autônomas e por modelos tecnológicos que favoreçam a justiça social, enquanto o uso crítico e adequado dessas ferramentas tecnológicas abre novas possibilidades de expressão e empoderamento para as populações locais. Dessa forma, a IA generativa, quando apropriada, pode se tornar uma força motriz para o auxílio da construção de uma tecnociência verdadeiramente orientada pelas necessidades e pelas realidades do Sul Global, abrindo caminho para um futuro em que a tecnologia seja um facilitador da autonomia e da solidariedade, e não um perpetuador de desigualdades.

SUMÁRIO

REFERÊNCIAS

- BELLI, L. **Cibersegurança**: uma visão sistêmica rumo a uma Proposta de Marco Regulatório para um Brasil Digitalmente soberano. Rio de Janeiro: FGV, 2023.
- BIJKER, W.; HUGHES, T.; PINCH, T. **The Social Construction of Technological Systems**. Cambridge: MIT Press, 1987.
- BOYD, D.; CRAWFORD, K. Critical questions for BIG DATA. **Information, Communication & Society**, v. 15, n. 5, p. 662-679, 2012.
- COULDRY, N.; MEJIAS, U. A. **The Costs of Connection**. Stanford: Stanford University Press, 2019.
- CRAWFORD, K. **Atlas of AI**: power, politics, and the planetary costs of artificial intelligence. New Haven: Yale University Press, 2021.
- CRAWFORD, K. Generative AI's Environmental Costs Are Soaring — and Mostly Secret. **Nature**, v. 626, n. 8000, p. 693-693, 2024.
- DAGNINO, R. **Tecnociência solidária**: um manual estratégico. Marília: Lutas Anticapital, 2019.
- FEUERRIEGEL, S. *et al.* Generative AI. **Business & Information Systems Engineering**, v. 66, n. 1, p. 111-126, 2024.
- HOUAISS, A. Dicionário Houaiss da Língua Portuguesa. **Houaiss**, 2024. Disponível em: <https://houaiss.uol.com.br>. Acesso em: 18 out. 2024.
- INNERARITY, D. **Artificial intelligence and democracy**. Paris: UNESCO, 2024.
- JASANOFF, S. Ordering knowledge, ordering society. *In*: JASANOFF, S. (org.). **States of knowledge**: the co-production of science and social order. London; New York: Routledge, 2004. p. 13-45.
- MARINI, R. M. **América Latina**: dependência e integração. São Paulo: Página Aberta, 1992.
- MIGNOLO, W. D. Colonialidade: o lado mais escuro da modernidade. **Revista Brasileira de Ciências Sociais**, v. 32, n. 94, 2017.
- MORALES, E.; REILLY, K. Subordinated by the algorithm: exploring data colonialism among latin american citizens. **Aoir Selected Papers of Internet Research**, p. 1-4, 2022. Disponível em: <https://spir.aoir.org/ojs/index.php/spir/article/view/13058>. Acesso em: 20 jun. 2024.

SUMÁRIO

MOROZOV, E. **To save everything, click here _ smart machines, dumb humans, and the myth of technological perfectionism**. New York: Perseus Books, PublicAffairs, 2013.

MOROZOV, E. **Big Tech**: a ascensão dos dados e a morte da política. São Paulo: Ubu, 2018.

NGCAMU, B. S. Climate Change Effects on Vulnerable Populations in the Global South: A Systematic Review. **Natural Hazards**, v. 118, n. 2, p. 977-991, 2023.

NOBLE, S. U. **Algorithms of Oppression**: How Search Engines Reinforce Racism. New York: NYU Press, 2018.

SABHERWAL, R.; GROVER, V. The Societal Impacts of Generative Artificial Intelligence: A Balanced Perspective. **Journal of the Association for Information Systems**, v. 25, n. 1, p. 13-22, 2024.

SÆTRA, H. S. Generative AI: Here to stay, but for good? **Technology in Society**, v. 75, p. 102372, 2023.

SANTOS, B. de S. **A gramática do tempo**: para uma nova cultura política. São Paulo: Cortez, 2010.

SILVA, D. da. *et al.* Opportunities and Challenges of Generative Artificial Intelligence: Research, Education, Industry Engagement, and Social Impact. **IEEE Industrial Electronics Magazine**, p. 2-17, 2024.

SRNICEK, N. **Capitalism Platform**. Cambridge: Polity, 2017.

WEST, S. M. Data Capitalism: Redefining the Logics of Surveillance and Privacy. **Business & Society**, v. 58, n. 1, p. 20-41, 2019.

ZUBOFF, S. **A era do capitalismo de vigilância**: a luta por um futuro humano na nova fronteira de poder. Rio de Janeiro: Intrínseca, 2021.

6

*Ismar Frango Silveira
João Soares de Oliveira Neto
Alexandre Gomes de Siqueira
Alexandre Cardoso
Valéria Farinazzo Martins
Maria Amelia Eliseo*

DIGITAL TWINS: CONCEITOS, DESAFIOS, TENDÊNCIAS E OPORTUNIDADES

SUMÁRIO

RESUMO:

O texto explora os gêmeos digitais, uma tecnologia que permite a criação de representações virtuais fidedignas de ativos físicos, processos ou sistemas, utilizando dados em tempo real para simular o comportamento e otimizar operações. O documento detalha os componentes técnicos, como modelagem, sensores IoT e análise de dados, além de apresentar diversas aplicações práticas, como na indústria, na saúde, nas cidades inteligentes e no setor de energia. Apesar das oportunidades promissoras, os gêmeos digitais enfrentam desafios, incluindo a integração de dados, a segurança, o custo de implementação e a complexidade técnica. O texto também discute as tendências futuras, como avanços em inteligência artificial, integração com novas tecnologias e expansão para novos setores.

INTRODUÇÃO

Os Gêmeos Digitais ou Digital Twins (DT) emergem como uma tecnologia inovadora que permite a criação de representações virtuais dinâmicas de ativos físicos, processos ou sistemas (Grieves; Vickers, 2017). Siqueira *et al.* (2024) apresentam os DT como uma evolução das simulações baseadas em Realidade Virtual (RV), mesclando Inteligência Artificial (IA) — o que inclui as tecnologias relacionadas com ciência de dados e aprendizagem de máquina, bem como a capacidade de obter e manipular dados em tempo real provenientes de bases de dados distribuídas e de sensores e dispositivos conectados, geralmente via Internet das Coisas (IoT) (Azori *et al.*, 2010). Essa sinergia permite uma integração completa, onde informações coletadas no ambiente físico são refletidas instantaneamente no modelo digital, facilitando um entendimento profundo e abrangente do sistema.

Com a crescente digitalização de indústrias e a evolução acelerada da IoT, a tecnologia de DT tem se tornado cada vez mais relevante. Ela possibilita a otimização de operações, melhorando a eficiência e a produtividade em setores como manufatura, saúde, construção civil, transporte e energia. Além disso, os DT auxiliam na tomada de decisões ao fornecer dados precisos e insights analíticos que ajudam a prever comportamentos, identificar falhas potenciais e testar novos cenários operacionais em um ambiente seguro. Essa capacidade de simulação e previsão permite que empresas e organizações antecipem problemas, minimizem riscos e implementem inovações de maneira mais controlada.

Como em qualquer tecnologia emergente, os DT apresentam um conjunto vasto de desafios. Entre eles, destacam-se as questões relacionadas à segurança de dados, já que a coleta e o processamento de informações sensíveis aumentam o risco de ataques cibernéticos.

A integração e a interoperabilidade entre diferentes sistemas e plataformas são complexas, exigindo padrões e protocolos bem-definidos para garantir que os dados fluam de maneira eficiente e segura. Outro desafio é a necessidade de grande capacidade de processamento e armazenamento de dados, que envolve uma infraestrutura robusta e altos custos operacionais.

Este capítulo aborda os principais desafios relacionados aos gêmeos digitais, com ênfase em sua aplicação em diversos setores e em seus aspectos técnicos, além de discutir seu potencial para desenvolvimentos futuros. No setor de saúde, os DT permitem a modelagem de organismos individuais, viabilizando simulações de tratamentos personalizados. Na manufatura, contribuem para a otimização da produção e a manutenção preditiva. No setor de energia, a tecnologia é utilizada para gerenciar redes elétricas de forma eficiente. O texto também explora os requisitos técnicos para criação e manutenção de DT, como sistemas de análise avançada de dados, Machine Learning e inteligência artificial.

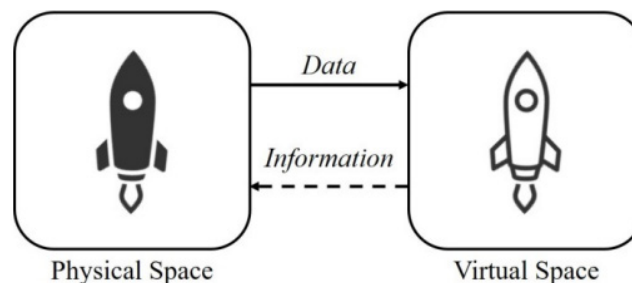
Finalmente, o capítulo aborda os indicativos de futuros desenvolvimentos dos DT, que apontam para uma integração ainda maior com tecnologias emergentes, como a computação em nuvem, a inteligência artificial e o edge computing. Tais avanços têm o potencial de expandir ainda mais o alcance dos DT, tornando-os acessíveis e aplicáveis a um número maior de setores e em ambientes cada vez mais complexos. Com a contínua evolução tecnológica, espera-se que os DT desempenhem um papel central na transformação digital global, ajudando organizações a enfrentar desafios e explorar oportunidades em um mundo cada vez mais conectado.

SUMÁRIO

DEFINIÇÃO E FUNCIONAMENTO DOS DT

DT são representações digitais de ativos físicos ou sistemas que utilizam dados em tempo real para simular seu comportamento e funcionamento (Caramihai *et al.*, 2024). De acordo com Grieves e Vickers (2017), um gêmeo digital é uma “representação digital de um objeto físico que reflete seu comportamento em um ambiente virtual”, como demonstrado na Figura 1. Essa definição sublinha a capacidade de um DT não apenas de replicar um objeto, mas também de imitar suas operações e condições.

Figura 1 – Representação simplificada de DT como uma contraparte digital de um elemento real



Fonte: Grieves e Vickers, 2017.

Quando o conceito de DT começou a ser formulado, no início dos anos 2000, ainda não havia uma série de avanços tecnológicos com os quais contamos atualmente, e as representações digitais de produtos reais eram relativamente novas e imaturas (Grieves, 2014). A visão inicial de DT foi amadurecendo ao longo dos últimos anos ao incorporar novas tecnologias — como a Internet das Coisas (IoT) — e até mesmo tecnologias consolidadas — como a Inteligência Artificial (IA) e a Realidade Virtual (RV). Desta forma, as informações intercambiadas entre o espaço virtual e o espaço físico passaram a assumir diferentes níveis de detalhes, do nível micro (atômico) ao nível macro (Iliuță *et al.*, 2024; Jeong *et al.*, 2022). No melhor dos

cenários, toda e qualquer informação da linha de produção de uma fábrica, por exemplo, que é monitorável, pode ser obtida por uma instância de gêmeo digital.

Os DT representam uma inovação na forma como os ativos e os sistemas são monitorados e gerenciados. Sua capacidade de integrar dados em tempo real, simulações precisas e análises avançadas oferece um potencial considerável para otimizar operações em diversas indústrias (Alnowaiser; Ahmed, 2023). À medida que a tecnologia avança e se torna mais acessível, espera-se que a adoção de DT continue a crescer, transformando a maneira como interagimos com o mundo físico.

TIPOS DE DT

Existem diferentes tipos de DT, cada um com características específicas e aplicações em diferentes áreas. A partir das quatro categorias propostas por Khang e Hong (2015) e com base em trabalhos de Grieves *et al.* (2017) e Martins *et al.* (2024), são apresentados sete principais tipos:

- **DT de Componente (CDT):** representa componentes individuais de objetos complexos. Utilizado para monitorar o desempenho e a saúde de partes críticas e prever falhas, principalmente em engenharia, arquitetura e saúde.
- **DT de Ativo (ADT):** descreve componentes físicos ou o objeto em si, sendo usado para projetar, testar e melhorar produtos antes da fabricação, além de monitorar seu desempenho e prever manutenção.
- **DT de Processo (PDT):** retrata processos operacionais, administrativos e produtivos, otimizando a produção, identificando gargalos e simulando cenários para reduzir custos.

SUMÁRIO

- **DT de Sistema (SDT):** integra múltiplos ativos e processos em um sistema completo, usado em setores como infraestrutura e energia para gerenciar sistemas complexos.
- **DT de Ambiente (EDT):** representa ambientes físicos, como cidades ou regiões, sendo utilizado no planejamento urbano, no monitoramento de infraestruturas e na gestão de recursos.
- **DT de Organização (ODT):** indica processos administrativos dentro de uma organização, ajudando a otimizar operações e tomar decisões estratégicas.
- **DT Humano (HDT):** descreve indivíduos ou grupos, sendo usado na personalização de tratamentos médicos, no monitoramento de saúde e na simulação de interações humanas.

Cada categoria de DT oferece benefícios específicos dependendo da aplicação. A escolha do tipo correto é essencial para maximizar as vantagens dos DT. Algumas diferenças entre os tipos de DT, como entre CDT e ADT, são claras, mas outras, como entre PDT e SDT, podem ser confusas, pois ambos simulam e monitoram aspectos diferentes de entidades físicas e suas operações.

ARQUITETURAS DE DT

As arquiteturas de DT conectam o mundo físico e digital, integrando dados de sensores em tempo real com modelos virtuais para simular, monitorar e otimizar sistemas e ativos físicos (Caramihai *et al.*, 2024). Um dos principais componentes dessas arquiteturas é a capacidade de coletar e processar dados em tempo real, permitindo uma sincronização contínua entre o modelo digital e seu gêmeo físico. Para garantir essa interação, muitas arquiteturas de DT adotam uma abordagem baseada em camadas, que inclui módulos para

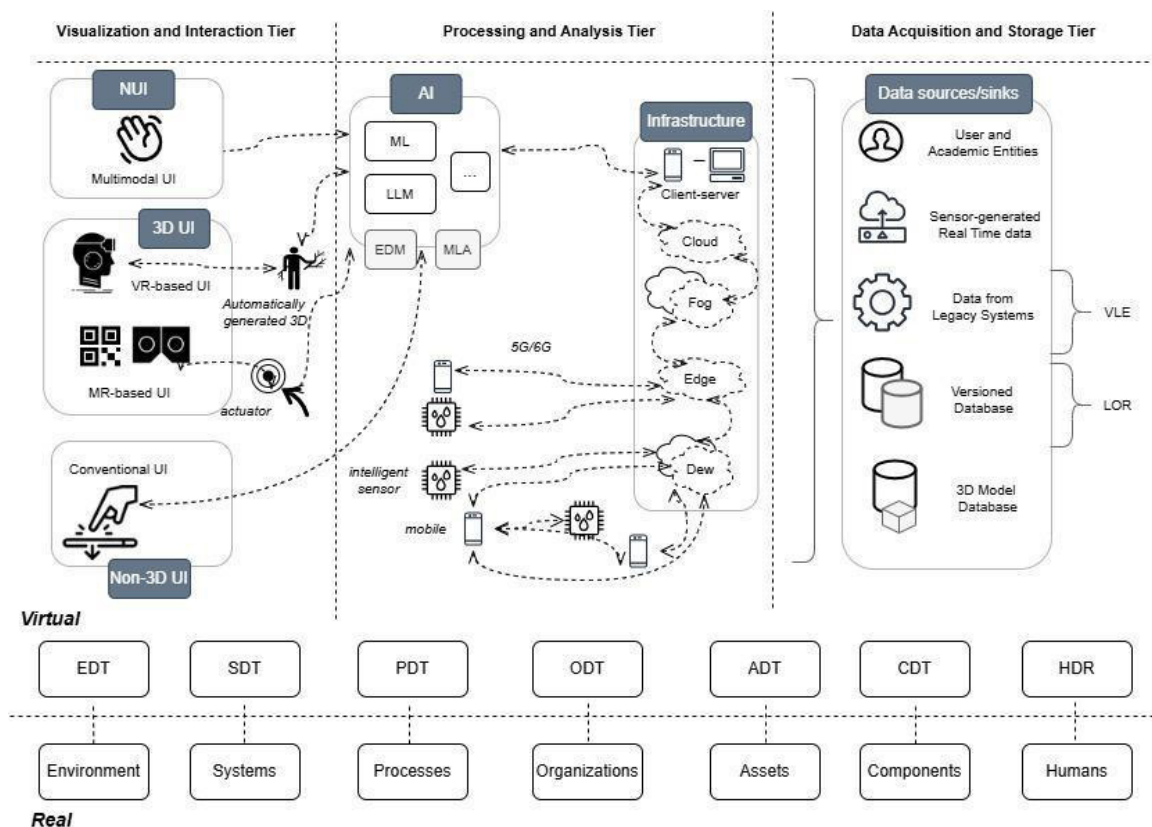
aquisição de dados, processamento, simulação e visualização. Essas camadas trabalham em conjunto para proporcionar uma visão completa do desempenho e das condições do ativo físico, otimizando a tomada de decisões e o gerenciamento operacional. A integração de tecnologias como IA e IoT permite que as arquiteturas de DT evoluam de sistemas puramente descritivos para sistemas preditivos e prescritivos.

Uma das questões centrais no design dessas arquiteturas é a necessidade de uma comunicação eficiente e confiável entre o ambiente físico e o digital, especialmente em sistemas complexos (Mihaita *et al.*, 2022). Algumas abordagens recentes destacam a importância do edge computing na arquitetura de DT, movendo parte do processamento de dados para mais perto das fontes, a fim de reduzir a latência e melhorar a eficiência operacional. Além disso, o uso de tecnologias como Blockchain para garantir a segurança e a integridade dos dados também tem sido explorado em algumas arquiteturas de DT. Essa evolução é relevante em setores como a manufatura, onde a confiabilidade e a rapidez dos dados podem impactar diretamente a produtividade e a manutenção preditiva de equipamentos.

Ainda que arquiteturas de DT voltadas a propósitos específicos venham sendo definidas, como fazem Martins *et al.* (2024) para a educação, Bachmann, Martins e Silveira (2024) para o *Open Finance* e Haße, Große e Glock (2020) para a logística, por exemplo, arquiteturas de propósito genérico podem ser especificadas ou adaptadas a partir de arquiteturas de uso específico, como a proposta para a educação, feita por Martins *et al.* (2024), reproduzida na Figura 2:

SUMÁRIO

Figura 2 – Uma arquitetura de DT de propósito geral



Fonte: Martins et al, 2024.

A arquitetura proposta é composta por três níveis principais, do mais interno ao mais superficial: o nível de aquisição e armazenamento de dados, o nível de processamento e análise, e o nível de visualização e interação.

- **Nível de aquisição e armazenamento de dados:** é responsável pela coleta e pelo armazenamento de dados em tempo real provenientes de sensores IoT e dispositivos de monitoramento.

SUMÁRIO

Os autores exemplificam aplicações com Ambientes Virtuais de Aprendizagem (AVA) e Repositórios de Objetos de Aprendizagem (ROA), mas essas fontes de dados podem ser substituídas por outras de propósito mais genérico.

- **Nível de processamento e análise:** os dados coletados são enviados para plataformas de computação em nuvem ou similar, onde são processados e analisados usando algoritmos de IA e aprendizado de máquina. Este nível é fundamental para a criação de modelos precisos de DT e para a implementação de interações de realidade mista, o que inclui a possibilidade de gerar automaticamente avatares, objetos e cenários 3D confiáveis usando Large Language Models (LLM), por exemplo (Song *et al.*, 2023; Hu *et al.*, 2024).
- **Nível de visualização e interação:** é adequado para utilizar AR e VR, resultando em uma interface baseada em MR que permite a estudantes e professores visualizar e manipular o DT — mas essa interação pode ser feita de outras formas, especialmente para PDT e SDT. Pode contar com óculos VR, dispositivos móveis, controladores e exibições holográficas para proporcionar uma experiência de aprendizado imersiva, mas também outros tipos de Interface de Usuário (UI) convencionais e não convencionais. Ele permite a visualização do DT e a interação com ambientes de MR ou outras UIs, facilitando a tomada de decisões, os testes de hipóteses e a simulação de cenários complexos.

TECNOLOGIAS HABILITADORAS

MODELAGEM E SIMULAÇÃO

A base de um DT é um modelo computacional que representa as características físicas e funcionais do objeto ou sistema. Essa modelagem envolve a utilização de técnicas de simulação para replicar o comportamento do ativo sob diferentes condições operacionais. As ferramentas de modelagem podem incluir software de CAD (desenho assistido por computador) e sistemas de simulação dinâmicos (Tao; Zhang; Liu, 2018).

O processo de modelagem de DT é uma tarefa complexa que requer uma integração entre tecnologia, análise de dados e simulação para criar réplicas virtuais precisas e funcionais. A relação entre DT e simulações é intrínseca, já que estas possibilitam uma análise detalhada e preditiva, promovendo melhorias na eficiência, na manutenção e no desenvolvimento de sistemas e produtos (Tekinerdogan, 2023).

O processo de modelagem para DT inclui diversas etapas que asseguram que a réplica virtual seja uma representação fiel e funcional do sistema físico, sendo elas apresentadas a seguir.

- **Definição de objetivos e requisitos:** a modelagem de um DT começa com a definição clara dos objetivos, que podem incluir monitoramento, otimização ou predição de falhas. A partir disso, são estabelecidos os requisitos técnicos, como a necessidade de precisão, as fontes de dados e as métricas de desempenho. Isso é essencial para garantir que o DT possa fornecer insights valiosos sobre o comportamento do sistema físico e permitir simulações preditivas para manutenção e otimização eficazes. Esse processo integra tecnologias como IA e análise de dados em tempo real para melhorar a eficiência e reduzir falhas (Bofill *et al.*, 2023).

SUMÁRIO

- **Aquisição de dados:** para que o DT funcione como uma réplica dinâmica do sistema físico, é necessário coletar dados em tempo real, geralmente por meio de sensores IoT, que fornecem informações sobre o estado e o ambiente do sistema físico (Jedermann *et al.*, 2023). Esses sensores fornecem informações sobre o estado e o ambiente do sistema físico, permitindo que o DT reflita com precisão as mudanças e os comportamentos do objeto ou sistema monitorado. A coleta contínua de dados e sua integração com a plataforma digital permitem a análise e a otimização do desempenho, além de prever falhas e comportamentos futuros, garantindo a eficiência operacional e a manutenção preditiva do sistema físico.
- **Desenvolvimento de modelos:** o desenvolvimento do modelo digital envolve a utilização de técnicas de modelagem matemática, física ou baseada em dados, ou ainda modelagem automática baseada em técnicas de IA generativa (Hu *et al.*, 2024). Diferentes estratégias de modelagem podem ser combinadas em abordagens híbridas, como destacado por diversos pesquisadores atuais, como Willcox (2020), especialmente nos campos de engenharia e manufatura. Nessas abordagens, simulações físicas são utilizadas para gerar dados que alimentam os algoritmos de aprendizado de máquina, criando modelos preditivos mais robustos e precisos. Isso possibilita que os DT sejam usados para otimizar processos, prever falhas e realizar análises preditivas em tempo real, combinando o melhor dos dois mundos: a precisão dos modelos físicos e a flexibilidade dos modelos baseados em dados.
- **Integração e conexão com o sistema físico:** para que o DT mantenha sua fidelidade ao sistema físico, é fundamental que haja uma conexão constante entre os dois. Essa integração permite que o gêmeo digital receba atualizações em tempo real e forneça feedbacks baseados nas condições atuais do

SUMÁRIO

sistema físico para ajuste ou otimização. Tecnologias de IoT e redes de alta velocidade, como as redes 6G, desempenham um papel importante nesse processo, facilitando a troca de dados e garantindo que o modelo digital permaneça sincronizado com seu equivalente físico, garantindo maior precisão e controle operacional (Hu *et al.*, 2021).

- **Validação e testes:** a fase de validação permite garantir que o DT funcione de forma adequada. Isso envolve a comparação entre os dados gerados pelo modelo digital e os dados reais do sistema, ajustando o modelo conforme necessário para corrigir discrepâncias e melhorar a precisão (Fuller *et al.*, 2020).

SENSORES E INTERNET DAS COISAS (IOT)

Os DT dependem de dispositivos conectados, como sensores e Internet das Coisas (IoT), que capturam dados em tempo real sobre o desempenho e as condições de ativos físicos. Esses sensores monitoram parâmetros como temperatura, pressão e vibração, fornecendo informações para a atualização contínua dos modelos digitais (Leng *et al.*, 2019). Ao integrar esses dados com os sistemas de DT, as organizações podem criar réplicas virtuais, permitindo a otimização e a gestão mais eficiente de sistemas complexos.

A coleta e a análise de dados em tempo real por sensores garantem que os DT reflitam com precisão o estado atual de seus equivalentes físicos, facilitando o monitoramento de operações, a identificação de falhas e a implementação de estratégias de manutenção preditiva (Tao *et al.*, 2019). Na indústria de manufatura, essa integração tem reduzido o tempo de inatividade e aumentado a eficiência dos processos produtivos (Tao *et al.*, 2019).

SUMÁRIO

Entretanto, realizar esta integração tem seus desafios. Isso inclui a confiabilidade dos dados capturados por sensores, uma vez que falhas, erros de calibração ou interferências podem comprometer a precisão das simulações e das previsões feitas pelos DT (Fuller *et al.*, 2020). Para minimizar esses riscos, é necessário adotar sistemas de validação de dados robustos e redundância em sensores para assegurar a integridade das informações.

Outro desafio está relacionado à segurança cibernética, pois a interconexão de dispositivos IoT aumenta a exposição a possíveis ataques, especialmente em redes que alimentam DT, tornando esses sistemas alvos potenciais de ameaças cibernéticas. Neste sentido, a utilização de criptografia avançada e protocolos de segurança aprimorados contribui para a proteção dos dados sensíveis e a integridade dos sistemas de DT (Fuller *et al.*, 2020; Grieves; Vickers, 2017).

Avanços na IoT e nos DT estão permitindo o desenvolvimento de aplicações inovadoras. No setor de energia, por exemplo, sensores IoT monitoram o desempenho de turbinas eólicas e outras infraestruturas em tempo real. Esses dados são transmitidos para DT, possibilitando a otimização contínua das operações e a previsão de falhas antes que ocorram (Biller; Biller, 2023). No setor de saúde, os DT têm sido utilizados para criar réplicas virtuais de pacientes, personalizando tratamentos médicos e otimizando a tomada de decisões clínicas com base em dados fornecidos por sensores vestíveis e dispositivos conectados (Gaur; Jhanjhi, 2022).

Além disso, a implementação de tecnologias emergentes, como 5G e computação de borda (edge computing), está potencializando a eficiência dos DT. Essas tecnologias proporcionam menor latência e maior capacidade de processamento, permitindo que sensores IoT enviem grandes volumes de dados de forma rápida e confiável, o que é fundamental para aplicações que exigem respostas em tempo real, como veículos autônomos e sistemas industriais automatizados (Tao *et al.*, 2019).

ANÁLISE DE DADOS

A análise de dados é um componente intrínseco aos DT. As informações coletadas pelos sensores são processadas e analisadas para extrair insights sobre o desempenho dos ativos. Técnicas de IA e aprendizado de máquina são frequentemente utilizadas para prever falhas, otimizar operações e melhorar a eficiência (Biller; Biller, 2023). O processo inclui a coleta, o processamento, a análise e a interpretação de dados, visando transformar dados brutos em informações úteis para otimizar o desempenho do sistema e apoiar a tomada de decisão (Wu *et al.*, 2023). A seguir, são descritas algumas das principais técnicas de análise de dados empregadas em DT.

- **Análise descritiva:** é o primeiro passo na análise de dados e envolve a coleta e a descrição dos dados em tempo real. Essa técnica permite identificar padrões e tendências, oferecendo uma visão geral do estado atual do sistema físico. Ao transformar dados brutos em informações úteis, a análise descritiva facilita o monitoramento do desempenho do sistema, além de apoiar a tomada de decisões para ajustes e melhorias contínuas (Wu *et al.*, 2023).
- **Análise preditiva:** é base para a manutenção preditiva e a prevenção de falhas. Utilizando algoritmos de Machine Learning e modelos estatísticos, os DT podem prever o comportamento futuro do sistema físico com base em dados históricos e em tempo real (Biller; Biller, 2023). Essa capacidade de previsão possibilita identificar problemas potenciais antes que eles ocorram, otimizando o planejamento de manutenção e minimizando o tempo de inatividade dos ativos.
- **Análise prescritiva:** vai além da previsão e sugere ações específicas para otimizar o desempenho. Utilizando técnicas de otimização e modelos de decisão, a análise prescritiva permite que os DT não só identifiquem problemas, mas também recomendem soluções e ações corretivas para melhorar a eficiência operacional (Biller; Biller, 2023).

APLICAÇÕES PRÁTICAS DOS DT

DT podem ser aplicados em uma variedade de campos, como saúde, educação e treinamento, engenharia e arquitetura, finanças e logística, entre outros. Nesta seção, são apresentados casos de uso DT em diferentes áreas, conforme citado por Siqueira *et al.* (2024). No campo das Ciências, Tecnologia, Engenharia, Artes e Matemática (STEAM), os DT são utilizados para simulações de experimentos, modelagem de sistemas complexos, visualização de conceitos abstratos e otimização de processos educacionais, como a virtualização de ambientes de campus e treinamento técnico.

Na saúde, o uso de DT está emergindo. Dessa forma, são aplicados na criação de réplicas digitais de pacientes para previsões personalizadas e otimização de cuidados contínuos. Eles também ajudam no treinamento de profissionais e no estudo de anatomia e técnicas cirúrgicas via simulações. Já na Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC), os DT podem melhorar o projeto de edifícios e infraestruturas, integrando-se com sistemas BIM, mesmo em fase de protótipo. Finalmente, no treinamento técnico, DT são utilizados no setor automotivo para simular manutenção e operações, aumentando a eficiência e a segurança. A seguir são detalhadas algumas áreas de aplicação dos gêmeos digitais.

INDÚSTRIA E MANUFATURA

Os gêmeos digitais têm se consolidado na indústria como uma ferramenta eficaz para otimizar processos de produção, monitorar a saúde de máquinas e prever falhas, promovendo uma gestão mais eficiente e econômica dos recursos. Conectando máquinas e equipamentos a suas contrapartes digitais, os DT permitem uma visualização em tempo real das operações, facilitando a identificação

de gargalos e oportunidades de melhoria, resultando em maior eficiência operacional e redução de custos (Errandonea; Beltrán; Arrizabalaga, 2020).

Os DT utilizam dados em tempo real para monitorar o desempenho de equipamentos, detectando anomalias que indicam possíveis falhas. Isso possibilita a adoção de estratégias de manutenção preditiva, que realiza intervenções apenas quando necessário, contrastando com a manutenção preventiva tradicional, que pode resultar em manutenções desnecessárias ou tardias. A manutenção preditiva reduz o tempo de inatividade, prolonga a vida útil dos ativos e otimiza o uso de peças de reposição, diminuindo os custos com reparos emergenciais (Ruiz-Sarmiento *et al.*, 2020).

Além disso, os DT são utilizados para otimizar a eficiência das linhas de montagem, modelando digitalmente cada etapa do processo produtivo. Essa modelagem permite identificar pontos críticos onde há perdas de produtividade ou acúmulo de resíduos, facilitando ajustes e práticas mais sustentáveis, como a redução do consumo de energia. Em setores complexos, como o automobilístico e o aeroespacial, os DT simulam cenários e testam alterações no processo antes da implementação física, reduzindo riscos e acelerando melhorias.

Pode-se citar o exemplo da General Electric (GE), que utiliza essa tecnologia para monitorar suas turbinas eólicas. Ao equipar essas turbinas com sensores conectados, a GE capta dados em tempo real sobre condições ambientais, como vento e temperatura, além de parâmetros específicos da operação da turbina, como velocidade de rotação, vibração e temperatura de componentes críticos. Esses dados são transmitidos para o DT de cada turbina, que os utiliza para simular o desempenho e prever potenciais falhas. Assim, a GE pode realizar manutenções programadas de forma otimizada, garantindo que cada intervenção seja realizada no momento mais oportuno, o que evita o desgaste prematuro de peças e reduz os custos operacionais.

Dessa forma, os DT não apenas promovem a eficiência operacional e a redução de custos, mas também auxiliam na criação de ambientes de produção mais resilientes e sustentáveis. À medida que a tecnologia avança e se integra com outras inovações, como a inteligência artificial e a Internet das Coisas, os DT se tornam mais sofisticados, possibilitando uma gestão industrial mais proativa e orientada por dados. No futuro, espera-se que os DT continuem a evoluir, desempenhando um papel central na transformação digital da indústria e contribuindo para o desenvolvimento de fábricas inteligentes, onde a conectividade e a automação permitirão níveis inéditos de desempenho e inovação.

SAÚDE

No setor de saúde, os gêmeos digitais podem ser utilizados para modelar pacientes individuais, permitindo simulações de tratamentos e intervenções médicas personalizadas (Liu; Wang, 2021; Hämmäläinen, 2021). Isso pode resultar em tratamentos mais eficazes e em menor risco para procedimentos cirúrgicos (Böttcher; Fonseca; Laubenbacher, 2024). Com base em dados de dispositivos médicos e sensores vestíveis, um DT pode representar com precisão o corpo de um paciente, incorporando sua anatomia, histórico médico e condição de saúde atual (Maeyer; Markopoulos, 2021). Esses modelos virtuais são atualizados constantemente, permitindo simulações de tratamentos antes de serem aplicados ao paciente real (Li *et al.*, 2024).

Ao simular diferentes cenários de tratamento, os gêmeos digitais permitem que os médicos antecipem como o paciente pode reagir a determinadas intervenções, ajustando o plano de tratamento com base nas previsões geradas. Isso é especialmente relevante em casos de condições complexas, onde as respostas dos pacientes podem variar (Böttcher; Fonseca; Laubenbacher, 2024). Por exemplo, antes de uma cirurgia, o DT pode ser utilizado para

simular o procedimento, identificando riscos e possíveis complicações. Dessa forma, a equipe médica é capaz de preparar o tratamento de maneira mais segura e precisa, o que pode reduzir a probabilidade de eventos adversos e melhorar os resultados clínicos (Machado; Berssaneti, 2023).

Essa abordagem personalizada tem o potencial de reduzir riscos associados a procedimentos invasivos, diminuir o tempo de recuperação e aumentar a precisão dos tratamentos (Maeyer; Markopoulos, 2021). Além disso, os DT permitem que os profissionais de saúde realizem um acompanhamento contínuo do paciente, ajustando o tratamento conforme as necessidades e as mudanças na condição de saúde. Com o tempo, essa tecnologia pode transformar a medicina, tornando-a mais preventiva, personalizada e baseada em dados, o que melhorará a experiência do paciente e os desfechos clínicos (Li *et al.*, 2024). Entretanto, esta é uma área em que as preocupações com questões éticas devem ser redobradas, conforme apontam Bruynseels, Santoni de Sio e Van Den Hoven (2021) em consonância com Maeyer e Markopoulos (2021).

CIDADES INTELIGENTES

Os Gêmeos Digitais (DT) são aplicados na criação de representações do espaço público que permitem simular o tráfego, a distribuição de energia e o uso do ambiente, auxiliando no planejamento urbano e no gerenciamento de recursos (Mazzetto, 2024; Ersan; Irmak; Colak, 2024). Essas iniciativas, que combinam tecnologia, dados e inovação, visam melhorar a qualidade de vida e otimizar os serviços públicos. Um exemplo é o controle de inundações, onde os DT gerenciam os sistemas de drenagem, melhorando a qualidade da água e sua vazão (Sharifi *et al.*, 2024). No setor de transportes, os DT aprimoram a eficiência e a segurança do trânsito por meio de simulações e análise de dados em tempo real (Shen *et al.*, 2024).

Além da infraestrutura urbana de distribuição de água e transporte, os DT podem ser aplicados no gerenciamento de sistemas de energia, permitindo manutenção planejada, preventiva e proativa, bem como otimização do desempenho desses sistemas por meio de análises preditivas (Ersan; Irmak; Colak, 2024). Ao viabilizar essas funcionalidades e ações, os DT contribuem para a redução dos gastos públicos e para uma gestão mais eficiente do espaço urbano.

GESTÃO DE ATIVOS NA INDÚSTRIA DE ENERGIA COM DT

Os DT são utilizados na otimização da gestão de ativos na indústria de energia, auxiliando no monitoramento, na operação e na manutenção de componentes e plantas de infraestruturas. Essa tecnologia é aplicada em situações de avaliação de risco e segurança das instalações e agentes.

Neste contexto, as representações precisas dos componentes e das plantas facilitam a análise em tempo real do desempenho, a gestão operacional, a manutenção e a avaliação preditiva e prescritiva da vida útil dos componentes, utilizando inteligência incorporada. A Figura 3 ilustra a tela do gêmeo digital das instalações da Eletrobras Eletronorte em Araraquara-SP, modelada com precisão para representar o arranjo real de campo, permitindo interação e manipulação dos componentes. A conexão com as bases de dados da concessionária possibilita a avaliação das condições operacionais e de estado dos componentes em tempo real, com suporte de um minimapa para navegação pela planta.

Figura 3 – DT usado para treinamento na Eletronorte



Fonte: Martins et al, 2024.

INTEGRAÇÃO DE DADOS: UM DESAFIO

Um dos principais desafios na implementação de DT é a integração de dados provenientes de diferentes fontes e sistemas. Seu êxito depende da compatibilidade tecnológica e da padronização de informações. Essa integração de dados em DT possibilita a criação de representações digitais precisas e dinâmicas de ativos físicos, processos ou sistemas. Para que o DT seja certo e eficiente, é necessária uma integração contínua e robusta de dados que são provenientes de diferentes fontes (Botín-Sanabria et al., 2022). Os dados utilizados em DT podem ser classificados em:

- **Dados intrínsecos ao componente:** capturados por sensores internos ou conectados diretamente ao componente real.
- **Dados extrínsecos e diretamente relacionados ao componente:** obtidos por sensores externos que “visualizam” o componente real.

- **Dados do ambiente:** coletados por sensores que monitoram o ambiente onde o componente real está instalado.

DESAFIOS E BENEFÍCIOS DA INTEGRAÇÃO DE DADOS

A integração de dados em DT envolve a coleta, a transformação e a consolidação de informações provenientes de múltiplos sistemas e dispositivos. Esses dados podem ser gerados por sensores IoT, sistemas de automação industrial, sistemas de gerenciamento de informações (como ERP e SCADA), entre outros. A integração eficaz garante que o Digital Twin receba um fluxo constante de dados precisos e atualizados, permitindo uma visão abrangente e em tempo real do ativo ou processo (Hildebrandt *et al.*, 2024). Assim, alguns desafios e benefícios devem ser considerados.

- **Desafios**
 - **Diversidade de fontes de dados:** os dados podem vir de diferentes tipos de sensores, sistemas legados e plataformas de software, com formatos e protocolos distintos. Garantir a interoperabilidade entre essas fontes é essencial.
 - **Volume e velocidade de dados:** os ativos conectados geram grandes volumes de dados a uma velocidade elevada. A capacidade de processar e integrar esses dados em tempo real é crítica para a precisão e a utilidade do DT.
 - **Qualidade e consistência de dados:** dados imprecisos ou inconsistentes podem levar a erros nas simulações e nas análises do DT. Por isso, é necessário implementar processos de validação e limpeza de dados.
 - **Segurança e privacidade:** com a integração de dados provenientes de múltiplas fontes, a segurança destes se torna uma preocupação. Deve-se garantir que as informações sejam protegidas contra acessos não autorizados e vulnerabilidades.

SUMÁRIO

▪ **Benefícios**

- **Melhoria na tomada de decisão:** com dados precisos e atualizados, é possível tomar decisões informadas e oportunas, reduzindo riscos e melhorando a eficiência operacional.
- **Simulação e previsão precisas:** a integração de dados permite simular condições e prever problemas antes que ocorram, ajudando na manutenção preditiva e na redução de paradas não planejadas.
- **Otimização de processos:** o DT ajuda a identificar gargalos e oportunidades de melhoria nos processos, permitindo uma operação mais eficiente e econômica.
- **Desenvolvimento e inovação acelerados:** empresas podem testar e validar novos produtos e processos digitalmente, reduzindo custos e acelerando o tempo de entrada no mercado.

A integração de dados em um DT é fundamental para o desenvolvimento e a operação eficazes desses modelos virtuais. Embora desafiadora, essa integração fornece uma compreensão profunda dos ativos e dos processos físicos, promovendo a transformação digital e preparando as organizações para a indústria do futuro.

GÊMEOS DIGITAIS HUMANOS

Os Gêmeos Digitais Humanos (HDT) estão revolucionando a forma como entendemos e modelamos o comportamento, a cognição e as interações humanas. Esses modelos digitais não se limitam apenas a características físicas, mas englobam tanto elementos fisiológicos quanto comportamentais, simulando as experiências humanas em ambientes virtuais. Essa abordagem permite uma compreensão mais abrangente da condição humana, ao combinar dados em tempo real de sistemas biológicos e comportamentais (Manickam

et al., 2023). O HDT pode representar indivíduos ou grupos, sendo amplamente utilizado na personalização de tratamentos médicos, no monitoramento de saúde e na simulação de interações humanas.

Os gêmeos digitais comportamentais representam uma inovação significativa, diferenciando-se dos modelos tradicionais ao simular aspectos psicológicos e comportamentais complexos. Eles integram dados sobre estados mentais, emoções, comunicação e tomada de decisões, permitindo uma compreensão aprofundada das reações humanas em diversos contextos (Yao *et al.*, 2020). Essa tecnologia é especialmente transformadora em setores como educação, treinamento profissional e saúde mental.

Em ambientes de treinamento, esses gêmeos digitais possibilitam simulações imersivas em que os indivíduos interagem com representações virtuais que replicam respostas cognitivas e emocionais. Essa modelagem abrange comportamentos que vão de interações cotidianas a situações de estresse elevado, tornando-os ferramentas valiosas para o desenvolvimento de empatia, habilidades de negociação e resolução de conflitos (Lin *et al.*, 2022). Humanos virtuais, apoiados por gêmeos digitais comportamentais, oferecem experiências dinâmicas e adaptativas, ajustando suas respostas às interações dos usuários e criando um ambiente mais envolvente e personalizado.

APLICAÇÕES DOS GÊMEOS DIGITAIS HUMANOS

- **Simulações centradas em humanos:** os gêmeos digitais humanos permitem a simulação de comportamentos em diversos ambientes, oferecendo modelos preditivos que auxiliam na criação de produtos, serviços e políticas mais centradas no ser humano. Por exemplo, no desenvolvimento urbano ou em cidades inteligentes, os HDT podem prever como as pessoas interagiriam com novas infraestruturas ou tecnologias, garantindo projetos mais focados nos usuários e melhorando a experiência geral (Wang *et al.*, 2024).

SUMÁRIO

- **Experiências personalizadas:** os gêmeos digitais comportamentais criam a base para experiências virtuais altamente personalizadas. Eles podem ser integrados em plataformas digitais para aprimorar as interações com os usuários, ajustando o conteúdo ou as respostas com base em dados em tempo real sobre o estado mental, as preferências e o histórico comportamental dos indivíduos. Essas interações personalizadas têm aplicações em diversos setores, aumentando o engajamento e a satisfação dos usuários (Wang *et al.*, 2024).
- **Colaboração e aprendizado remoto:** com o crescimento do trabalho remoto e dos ambientes de aprendizado virtual, os gêmeos digitais humanos desempenham um papel crucial na simulação de interações sociais. Colegas de classe virtuais, alimentados por HDT, podem responder em tempo real às entradas humanas, criando colaborações virtuais mais interativas e envolventes. Essa aplicação vai além dos avatares passivos, pois estes equivalente digitais simulam inteligência emocional, estilos de colaboração e adaptabilidade às dinâmicas de equipe (Shengli, W., 2021).
- **Modelagem cognitiva e emocional:** além das respostas comportamentais, os gêmeos digitais humanos podem simular processos cognitivos, incluindo a tomada de decisão, o aprendizado e a resolução de problemas. Esses gêmeos podem ser utilizados para modelar processos de pensamento humano, oferecendo novas perspectivas para a interação homem-máquina e inteligência artificial. A integração de gêmeos digitais comportamentais em sistemas de IA permite interações mais naturais e humanizadas entre usuários e máquinas, à medida que a IA pode antecipar e responder melhor às necessidades humanas com base em modelos emocionais e cognitivos (Oliveira; Khanshan; Van Gorp, 2023).

CONSIDERAÇÕES ÉTICAS

Os gêmeos digitais humanos possuem um potencial significativo, mas suscitam questões éticas cruciais, especialmente no que diz respeito à privacidade de dados, ao consentimento e aos impactos psicológicos das interações com representações digitais realistas. A criação de modelos comportamentais detalhados gera preocupações sobre o uso responsável da tecnologia, particularmente quando envolve o monitoramento de estados mentais e emocionais (Bruynseels; Santoni de Sio; Van Den Hoven, 2021). Portanto, é essencial que diretrizes éticas acompanhem o desenvolvimento dessa tecnologia, garantindo seu uso justo e responsável.

Os gêmeos digitais humanos marcam um progresso importante na simulação, abrangendo não apenas aspectos físicos, mas também comportamentais e cognitivos da experiência humana. Essa inovação abre novas possibilidades para modelar, interagir e entender o comportamento humano, com aplicações que se ampliam em diversas áreas e oferecem insights valiosos sobre nossas vidas, aprendizados e interações na era digital.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo explorou os principais conceitos, desafios e oportunidades relacionados ao uso de DT. Discutiu-se o potencial dessa tecnologia emergente de revolucionar setores como a indústria, a saúde, as cidades inteligentes e a energia, criando representações virtuais dinâmicas de ativos físicos, processos e sistemas. Os DT representam a transformação digital de indústrias e serviços. Com o avanço contínuo da tecnologia e a crescente adoção em diversos setores, os DT têm o potencial de modificar a forma como interagimos com o mundo físico e como gerenciamos ativos e sistemas complexos.

SUMÁRIO

A implementação dos gêmeos digitais enfrenta desafios significativos, como a complexidade na configuração e na manutenção de dispositivos conectados, a integração de dados de diversas fontes e a necessidade de garantir segurança e privacidade. A análise em tempo real de grandes volumes de dados também exige uma infraestrutura robusta e algoritmos avançados, além de levantar preocupações éticas sobre o uso indevido de dados. Desigualdades tecnológicas podem limitar o uso dos DT em regiões menos desenvolvidas, enquanto barreiras para estudantes com deficiências físicas e cognitivas representam outro desafio.

Apesar disso, os DT trazem benefícios consideráveis, como otimização de operações, simulações precisas e monitoramento em tempo real, o que facilita a tomada de decisões e melhora a eficiência. Perspectivas futuras incluem avanços na inteligência artificial e no aprendizado de máquina, ampliando a precisão e as funcionalidades dos DT. Além disso, a integração com tecnologias emergentes, como Blockchain e realidade aumentada, promete expandir suas aplicações, tornando os processos mais seguros e eficientes. Com redução dos custos e maior acessibilidade, espera-se que os DT desempenhem um papel importante na transformação digital em setores ainda não explorados, impulsionando inovações e promovendo um futuro sustentável.

REFERÊNCIAS

ALNOWAISER, K. K.; AHMED, M. A. Digital Twin: Current Research Trends and Future Directions. **Arab J Sci Eng**, v. 48, p. 1075-1095, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13369-022-07459-0>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13369-022-07459-0>. Acesso em: 25 jul. 2025.

ATZORI, Luigi; IERA, Antonio; MORABITO, Giacomo. The internet of things: A survey. **Computer networks**, v. 54, n. 15, p. 2787-2805, 2010.

SUMÁRIO

BACHMANN, J. C., MARTINS, V. F., SILVEIRA, I. F. Uma arquitetura de Digital Twins para Open Finance. *In: CONGRESSO LATINO-AMERICANO DE SOFTWARE LIVRE E TECNOLOGIAS ABERTAS*, 21, 2024, Foz do Iguaçu. **Anais [...]**. Foz do Iguaçu: LatinScience, 2024. p. 1-8.

BILLER, B.; BILLER, S. Implementing digital twins that learn: AI and simulation are at the core. **Machines**, v. 11, n. 4, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/machines11040425>. Acesso em: 25 jul. 2025.

BOFILL, J. *et al.* Exploring digital twin-based fault monitoring: Challenges and opportunities. **Sensors**, v. 23, n. 16, 70-87, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/s23167087>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1424-8220/23/16/7087>. Acesso em: 25 jul. 2025.

Botín-Sanabria, D. M., Mihaita, A.-S., Peimbert-García, R. E., Ramírez-Moreno, M. A., Ramírez-Mendoza, R. A., & Lozoya-Santos, J. d. J. (2022). Digital Twin Technology Challenges and Applications: A Comprehensive Review. *Remote Sensing*, 14(6), 1335. <https://doi.org/10.3390/rs14061335>

BÖTTCHER, L.; FONSECA, L. L.; LAUBENBACHER, R. C. Control of medical digital twins with artificial neural networks. **Philosophical Transcriptions of the Royal Society**, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1101/2024.03.18.585589>. Disponível em: <https://www.biorxiv.org/content/10.1101/2024.03.18.585589v1>. Acesso em: 25 jul. 2025.

BRUYNSEELS, K.; SANTONI DE SIO, F.; VAN DEN HOVEN, J. Digital twins in health care: Ethical implications of an emerging engineering paradigm. **Frontiers in Genetics**, v. 11, n. 31, 2021.

CARAMIHA, Simona Iuliana; POPESCU, Dragos Constantin; DUMITRACHE, Ioan. Future Enterprise as a self-organizing Complex system. *In: 2024 International Conference Automatics and Informatics (ICAI)*. IEEE, 2024. p. 455-460.

ERRANDONEA, I.; BELTRÁN, S.; ARRIZABALAGA, S. Digital Twin applications: A review. **Applied Sciences**, v. 10, n. 1, p. 1-26, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/app10010001>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2076-3417/10/1/1>. Acesso em: 25 jul. 2025.

ERSAN, M.; IRMAK, E.; COLAK, A. M. Applications, insights and implications of Digital Twins in smart city management. *In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON SMART GRID*, 16, 2024, São Paulo. **Anais [...]**. São Paulo: IEEE, 2024. p. 378-383.

FULLER, A. *et al.* Digital Twin: Enabling technologies, challenges and open research. **IEEE Access**, v. 8, p. 108952-108971, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2998358>. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9103025>. Acesso em: 25 jul. 2025.

SUMÁRIO

GAUR, L.; JHANJHI, N. Z. (ed.). **Digital Twins and Healthcare: Trends, Techniques, and Challenges**. [S. l.]: IGI Global, 2022.

GRIEVES, M. Digital twin: manufacturing excellence through virtual factory replication. **White paper**, v. 1, p. 1-7, 2014.

GRIEVES, M.; VICKERS, J. Digital twin: Mitigating unpredictable, undesirable emergent behavior in complex systems. *In*: KAHLLEN, J.; FLUMERFELT, S.; ALVES, A. (ed.). **Transdisciplinary Perspectives on Complex Systems**. [S. l.]: Springer, 2017. p. 85-113.

HABE, H.; GROBE, E. H.; GLOCK, C. H. Digital twin for real-time data processing in logistics. **econstor.eu**, 2020.

HÄMÄLÄINEN, M. Urban development with dynamic digital twins in helsinki city. **IET Smart Cities**, v. 3, n. 4, p. 201-210, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1049/smc2.12015>. Disponível em: <https://ietresearch.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1049/smc2.12015>. Acesso em: 25 jul. 2025.

HILDEBRANDT, G. *et al.* Data integration for digital twins in industrial automation: a systematic literature review. **TechRxiv**, 2024.

HU, W. *et al.* Digital twin: a state-of-the-art review of its enabling technologies, applications and challenges. **Journal of Intelligent Manufacturing and Special Equipment**, v. 2, n. 1, 1-34, 2021.

HU, Z. *et al.* SceneCraft: An LLM Agent for Synthesizing 3D Scenes as Blender Code. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE ON MACHINE LEARNING, 41, 2024, Viena. **Anais [...]**. Viena, [s. d.], 2024.

ILIUȚĂ, M. E. *et al.* Digital Twin — A Review of the Evolution from Concept to Technology and Its Analytical Perspectives on Applications in Various Fields. **Appl. Sci.**, v. 14, n. 13, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/app14135454>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2076-3417/14/13/5454>. Acesso em: 25 jul. 2025.

JEDERMANN, Reiner *et al.* Digital twin concepts for linking live sensor data with real-time models. **Journal of Sensors and Sensor Systems**, v. 12, n. 1, p. 111-121, 2023.

JEONG, D. Y. *et al.* Digital twin: Technology evolution stages and implementation layers with technology elements. **IEEE Access**, v. 10, p. 52609-52620, 2022.

KHANG, H.; HONG, H. Evolution of Digital Twins in Cyber-Physical Systems. **Journal of Systems and Software Engineering**, v. 21, n. 3, p. 345-360, 2015.

SUMÁRIO

LENG, J. *et al.* Digital Twin-driven manufacturing cyber-physical systems for parallel controlling of smart workshop. **Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing**, v. 10, n. 3, p. 1155-1166, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12652-018-0881-5>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12652-018-0881-5>. Acesso em: 25 jul. 2025.

LI, W. *et al.* Navigating the evolution of digital twins research through keyword co-occurrence network analysis. **Sensors**, v. 24, n. 4, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/s24041202>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1424-8220/24/4/1202>. Acesso em: 25 jul. 2025.

LIN, Y. *et al.* Human digital twin: a survey. **Research Square**, 2022. Disponível em: <https://www.researchsquare.com/article/rs-2369073/v1>. Acesso em: 25 jul. 2025.

LIU, P.; WANG, L. A comprehensive review of digital twins in healthcare: Applications, challenges, and opportunities. **Frontiers in Medicine**, 2021.

MACHADO, T. M.; BERSANETI, F. T. Literature review of digital twin in healthcare. **Heliyon**, v. 9, n. 9, e19390, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e19390>. Disponível em: [https://www.cell.com/heliyon/fulltext/S2405-8440\(23\)06598-2?_returnURL=https%3A%2F%2Flinkinghub.elsevier.com%2Fretrieve%2Fpii%2FS2405844023065982%3Fshowall%3Dtrue](https://www.cell.com/heliyon/fulltext/S2405-8440(23)06598-2?_returnURL=https%3A%2F%2Flinkinghub.elsevier.com%2Fretrieve%2Fpii%2FS2405844023065982%3Fshowall%3Dtrue). Acesso em: 25 jul. 2025.

MAEYER, C. D.; MARKOPOULOS, P. Future outlook on the materialisation, expectations and implementation of digital twins in healthcare. *In*: BRITISH HCI CONFERENCE, 24., 2021, Londres. **Anais [...]**. Londres: HCI, 2021. DOI: <https://doi.org/10.14236/ewic/hci2021.18>. Disponível em: <https://www.scienceopen.com/hosted-document?doi=10.14236/ewic/HCI2021.18>. Acesso em: 25 jul. 2025.

MANICKAM, S. *et al.* Unlocking the potential of digital twins: a comprehensive review of concepts, frameworks, and industrial applications. **IEEE Access**, v. 11, p. 135147-135158, 2023.

MARTINS, V. F. *et al.* A three-tiered architectural model for Digital Twins in Education. *In*: WORKSHOP EM MODELAGEM E SIMULAÇÃO DE SISTEMAS INTENSIVOS EM SOFTWARE (MSSIS), 6., 2024, Curitiba. **Anais [...]**. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2024. p. 68-77. DOI: <https://doi.org/10.5753/mssis.2024.3777>. Disponível em: <https://sol.sbc.org.br/index.php/mssis/article/view/30274>. Acesso em: 25 jul. 2025.

MAZZETTO, S. A review of urban digital twins integration, challenges, and future directions in smart city development. **Sustainability**, v. 16, n. 19, 2024. DOI: <https://doi.org/10.3390/sul16198337>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2071-1050/16/19/8337>. Acesso em: 25 jul. 2025.

SUMÁRIO

MIHAITA, A. S. *et al.* Digital twin technology challenges and applications: a comprehensive review. **Remote Sensing**, v. 14, n. 6, 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs14061335>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2072-4292/14/6/1335>. Acesso em: 25 jul. 2025.

OLIVEIRA, C. D. DE.; KHANSHAN, A.; VAN GORP, P. Exploring the Feasibility of Data-Driven Emotion Modeling for Human Digital Twins. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PERVASIVE TECHNOLOGIES RELATED TO ASSISTIVE ENVIRONMENTS, 16., 2023, Corfu. **Anais [...]**. Nova York: Association for Computing Machinery, 2023. p. 568-573.

RUIZ-SARMIENTO, J. R. *et al.* Maintenance optimization in a digital twin for Industry 4.0. **Sensors**, v. 20, n. 8, 2020. DOI: <https://doi.org/10.3390/s20082305>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1424-8220/20/8/2305>. Acesso em: 25 jul. 2025.

SHARIFI, A. *et al.* Application of artificial intelligence in Digital Twin models for stormwater infrastructure systems in smart cities. **Advanced Engineering Informatics**, v. 61, 2024.

SHEN, S. *et al.* Construction of smart transportation city system based on Digital Twins. *In*: **Intelligent Transportation and Smart Cities**. [S. l.]: IOS Press, 2024. p. 76-86.

SHENGLI, W. Is human digital twin possible? **Computer Methods and Programs in Biomedicine Update**, 1, 2021.

SIQUEIRA, A. G. *et al.* From Virtual Reality to Digital Twins: The long and winding road. *In*: SYMPOSIUM ON VIRTUAL AND AUGMENTED REALITY, 26., Manaus, 2024. **Anais [...]**. Manaus: UEA, 2024.

SONG, W. *et al.* Automatic Generation of 3D Scene Animation Based on Dynamic Knowledge Graphs and Contextual Encoding. **International Journal of Computer Vision**, v. 131, n. 11, p. 2816-2844, 2023.

TAO, F. *et al.* Digital Twin in industry: State-of-the-art. **IEEE Transactions on Industrial Informatics**, v. 15, n. 4, p. 2405-2415, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1109/TII.2018.2873186>. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8477101>. Acesso em: 25 jul. 2025.

TAO, F.; ZHANG, M.; LIU, Y. Digital Twin in Industry: State-of-the-art and future directions. **Journal of Manufacturing Systems**, 49, p. 100-113, 2018.

TEKINERDOGAN, B. On the notion of digital twins: A modeling perspective. **Systems**, v. 11, n. 1, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/systems11010015>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2079-8954/11/1/15>. Acesso em: 25 jul. 2025.

WANG, B. *et al.* Human Digital Twin in the context of Industry 5.0. **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing**, v. 85, 2024.

WILLCOX, K. Toward predictive digital twins: From physics-based modeling to scientific machine learning. **IMSI Institute**, 2020.

WU, H. *et al.* A comprehensive review of digital twin from the perspective of total process: Data, models, networks and applications. **Sensors**, v. 23, n. 19, 2023. DOI: <https://doi.org/10.3390/s23198306>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/1424-8220/23/19/8306>. Acesso em: 25 jul. 2025.

YAO, H. *et al.* A virtual human interaction using scaffolded ping-pong feedback for healthcare learners to practice empathy skills. *In*: ACM INTERNATIONAL CONFERENCE ON INTELLIGENT VIRTUAL AGENTS, 22., 2022, Faro. **Anais [...]**. Faro: ACM, 2022. p. 1-8.

SUMÁRIO

SUMÁRIO

SOBRE OS AUTORES E AS AUTORAS

Alexandre Cardoso

Professor Titular da Universidade Federal de Uberlândia, foi Coordenador do Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica. Tem experiência nas áreas de Engenharia Elétrica e Engenharia da Computação, com ênfase em Engenharia de Software e Computação Gráfica.

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/3767009717402045>

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2023-9647>

E-mail: alexandre@ufu.br

Alexandre Gomes de Siqueira

Professor Assistente na Faculdade de Engenharia da Universidade da Flórida, com Bacharelado em Ciência da Computação pela Universidade de São Paulo, MBA pela Fundação Getúlio Vargas e PhD. em Computação centrada no Ser Humano pela Universidade de Clemson (EUA).

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/9204208251298369>

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9213-9602>

E-mail: agomesdesiqueira@ufl.edu

Alfredo Rodrigues Eurico Matta

Bolsista de Produtividade, Desenvolvimento, Tecnologia e Extensão Inovadora 2. Doutor em Educação pela Universidade Federal da Bahia/Université Laval (Canadá, 2001). Pós-Doutorado na Universidade do Porto (Portugal) em Educação a Distância e Comunidades de Aprendizagem Internacionais em Língua Portuguesa, apoiado pelo CNPQ (2006). Bacharel em Processamento de Dados pela Unifacs (1990). Graduado em História pela Universidade Católica do Salvador – UCSAL (1988). Mestrado em História pela Universidade Federal da Bahia – UFBA (1996). Possui experiência em modelagem computacional aplicada a EAD, tecnologia educativa, educação à distância, informática educacional, tecnologia da informação, pluriculturalidade, plurilinguismo de expressão portuguesa. Coordenador do Núcleo Bahia da Associação Brasileira de Educação a Distância - ABED.

SUMÁRIO

Parte do Conselho Científico da ABED. Membro da Academia Baiana de Educação, do Instituto Geográfico Histórico da Bahia e da Academia Portuguesa da História.

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/1169116651630370>

ORCID: 0000-0002-7715-0918

E-mail: alfredomatta@gmail.com

André M. Cordeiro

Graduação em Psicologia pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (2007), com especialização em Gestão Pública pela Universidade Cândido Mendes (2012), em Gestão em Ergonomia pela UFRJ (2015) e em Gestão de Ciência e Tecnologia em Saúde (2014) pela ENSP- Fiocruz. Mestre em Administração Pública pela Fundação Getúlio Vargas (EBAPE-FGV). Cursos módulos internacionais na ESADE (Espanha), ISCTE (Portugal) e RUTGERS (EUA). Profissional experiente nas áreas de Gestão de Pessoas, Gestão de Mudanças, Gestão Pública, Psicologia, Saúde do Trabalhador, Planejamento, Gestão de Projetos.

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/6013263704661816>

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-8359-3886>

E-mail: andre.cordeiro@fiocruz.br

Cayo Pablo Santana de Jesus

Professor efetivo com dedicação exclusiva do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano (IF Baiano Campus Catu) desde 2010. Pesquisador nas áreas de Tecnologias de produção, Tecnologias em educação e Tecnologias para qualidade de vida. Mestre em Sistemas e Computação (2010), Especialista em Engenharia de Software (2006) e Bacharel em Ciência da Computação com ênfase em Análise de Sistemas (2004), títulos obtidos pela Universidade Salvador (Unifacs) e Licenciado em Educação Profissional e Tecnológica em 2020 (IFBA). Possui experiência desde 2010 em projetos com acessibilidade virtual, participando do desenvolvimento de três produtos, a nível nacional, em projeto de pesquisa vinculado a Rede de Pesquisa e Inovação em Tecnologias Digitais (RENAPI) para comunidade cega brasileira, a saber: a) Modelo de Acessibilidade em Governo Eletrônico (eMag), um documento de diretrizes e recomendações a serem consideradas para o processo de acessibilidade dos sites e portais do governo brasileiro (Brasil, 2024); Avaliador e Simulador de Acessibilidade em Sites (ASES), uma ferramenta que possibilita avaliar, simular e corrigir a acessibilidade de páginas web; c) Selo Brasileiro de Acessibilidade Virtual (e-SELO), um certificado de validação para os sites e portais que possuem acessibilidade em suas páginas web.

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/1199754955332203>

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6841-200X>

E-mail: cayo.santana@ifbaiano.edu.br

SUMÁRIO

Cleia Santos Libarino

Membro do ICT – IFBA – Vitória da Conquista, professora do curso de Engenharia Elétrica – COEEL do Instituto Federal da Bahia – IFBA, campus Vitória da Conquista. Membro do Grupo de Inovação e Pesquisa em Automação e Robótica - GIPAR - IFBA. Possui graduação em Engenharia de Computação pela Faculdade Independente do Nordeste (2007) e mestrado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal da Bahia (2012).

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/0168353916026552>

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4078-5872>

E-mail: cleialibarino@ifba.edu.br

Crescencio Rodrigues

Graduado em Ciência da Computação pela Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (2005), mestrado em Ciência da Computação pela Universidade Federal de Pernambuco (2011) e doutorado em Ciência da Computação pela Universidade Federal da Bahia (2019). Atualmente é professor e pesquisador do Instituto Federal da Bahia e membro do Grupo de Inovação e Pesquisa em Automação e Robótica - GIPAR - IFBA.

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/9104143705992817>

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0286-2056>

E-mail: crescencio@gmail.com

Edilene Carvalho da Paixão

Co-fundadora da Pawkeepr (Plataforma para pets, tutores e veterinários), onde lidero planejamento de atividades e inovação. Com mais de 7 anos de experiência em merchandising e atendimento ao cliente, trabalhei na Procter & Gamble Brasil, gerenciando a participação de produtos e campanhas de lançamento. Possuo formação em Análise e Desenvolvimento de Sistemas pela Estácio, com conclusão prevista para 2025, e estou cursando uma pós-graduação em Engenharia de Software. Também sou formada em História pela Universidade Federal de Sergipe.

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/8004896228251575>

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-6203-8124>

E-mail: edilenecpaixao2@gmail.com

SUMÁRIO

Elisrenan Barbosa da Silva

Engenheiro de software especializado em nuvem, com foco em micro serviços e arquitetura serverless. Utilizo boas práticas como TDD, BDD e pipelines automatizadas via GitHub Workflows, garantindo alta qualidade e eficiência nas entregas. Tenho experiência com AWS (CloudFormation, Terraform) e na construção de APIs RESTful com FastAPI e Python. Também integro front-ends como React e Vue a APIs, além de trabalhar com bancos de dados relacionais (MySQL, PostgreSQL) e NoSQL (MongoDB, DynamoDB). Possuo Mestrado em Ciência da Computação pela Universidade Federal de Sergipe (UFS) e atualmente integro o corpo docente do Centro Universitário Estácio de Sergipe.

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/6159503676333373>

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8890-9718>

E-mail: elisrenan@gmail.com

Francisca de Paula Santos da Silva

Pós-doutorado em Educação pela Universidade de Coimbra (Portugal, 2006), Doutorado em Educação pela UFBA (2005), Mestrado em Administração pela UFBA (1997), Especialização em Administração (1993) pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, e em Psicopedagogia Junguiana (2012), Instituto Junguiano da Bahia, Brasil; e e] Graduação em Turismo (1988), pela Faculdade Integrada Olga Mettig, e Administração pela UCSAL (1990). Possui experiência em educação profissional. Colaboradora da Universidad à Escala Humana da Fundación Manfred Max-Neef.

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/7536235341113556>

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5115-1296>

E-mail: fcapaula@gmail.com

Ingrid Winkler

Bolsista de Produtividade CNPq DT-1D e pós-doutora pela Escola de Engenharia Aeroespacial e Mecânica da Nanyang Technological University (NTU/ Singapore). Coordena a rede de cooperação Instituto de Ciência, Inovação e Tecnologia em Indústria 4.0 (INCITE INDÚSTRIA 4.0), atua como docente permanente dos PPGs em Modelagem Computacional e Gestão e Tecnologia Industrial no SENAI CIMATEC e é Visiting Researcher na Universidade Lusíada (Portugal) e no Centro de Competências EMBRAPPI em Tecnologias Imersivas (AKCIT/ UFG). É pesquisadora líder do Lab de Realidade Estendida para Inovação Industrial e Produção Sustentável (XRIISP Lab).

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/8933624812566216>

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6505-6636>

E-mail: ingrid.winkler@doc.senaicimatec.edu.br

SUMÁRIO

Ismar Frango Silveira

Professor Adjunto da Universidade Presbiteriana Mackenzie, atuando nos cursos de Graduação da Faculdade de Computação e Informática, no Programa de Mestrado e Doutorado em Engenharia Elétrica e Computação e no Programa de Mestrado Profissional em Computação Aplicada.

Lattes: lattes.cnpq.br/3894359521286830

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8029-072X>

E-mail: ismarfrango@gmail.com

João Augusto Coêlho Chagas

Estudante de graduação em Engenharia Elétrica, atual presidente do Grupo de Inovação e Pesquisa em Automação e Robótica - GIPAR, membro do Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) no capítulo Robotics and Automation Society (RAS) e pesquisador no projeto de iniciação científica: Incite indústria 4.0.

Lattes: <https://lattes.cnpq.br/3662645113175938>

ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-2973-9453>

E-mail: joaoaugustodev@gmail.com

João Erivando Soares Marques

Possui graduação em engenharia mecânica pela Universidade Federal de Campina Grande (2004), graduação em Engenharia Elétrica pela Faculdade Independente do Nordeste (2018), Mestrado em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal da Paraíba (2006) e Doutorado em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal da Paraíba (2010). Atualmente é professor do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia da Bahia, atuando na área de Automação e Controle. Atualmente é professor e pesquisador do Instituto Federal da Bahia e membro do Grupo de Inovação e Pesquisa em Automação e Robótica - GIPAR - IFBA.

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/6743633999783212>

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3488-5500>

E-mail: erivando@ifba.edu.br

SUMÁRIO

João Soares de Oliveira Neto

Professor Associado da Universidade Federal da Bahia (UFBA). Tem experiência na área de Ciência da Computação, com ênfase em Interação Humano-Computador, acessibilidade, Engenharia de Software, Computação Ubíqua e desenvolvimento de Tecnologia Assistiva digital para o espaço urbano.

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/7684760158783143>

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1465-7797>

E-mail: jnetoxm@gmail.com

José Alberto Díaz Amado

Possui graduação em Engenharia Eletrônica pela Universidade Católica Santa Maria (2003), revalidado como Engenheiro Eletricista pela Universidade Federal de Minas Gerais (2013). Mestre (2008) e Doutor (2013) em Engenharia Elétrica e Computação pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). Pós-doutorado (2019) pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP). Atualmente é Professor Associado de magistério superior no Instituto Federal de educação, Ciência e Tecnologia da Bahia (IFBA), Campus Vitória da Conquista e Pesquisador Associado da Universidade Católica San Pablo (UCSP - Peru). Tutor do Capítulo Estudantil do IEEE-RAS, Coordenador do Grupo de Inovação e Pesquisa em Automação e Robótica (GIPAR) e Coordenador do Instituto de Ciência, Inovação e Tecnologia do Estado da Bahia (INCITE - Indústria 4.0) do IFBA, Vitória da Conquista. Tem experiência na área de Inovação, empreendedorismo e Engenharia Elétrica, com ênfase em Automação Industrial, Robótica e Indústria 4.0, atuando principalmente nas seguintes linhas de pesquisa: Sistemas de Navegação Autônoma para robótica móvel, Robótica Social, Sistemas de Percepção Robótica, Deep Learning, Visão Computacional, Sistemas hápticos, inteligência artificial aplicado a controle, Indústria 4.0, Eletrônica Industrial.

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/4676804219079636>

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8447-784X>

E-mail: jose_diaz@ifba.edu.br

Lucas G. G. Almeida

Doutorando em Design pela Universidade Federal do Paraná (UFPR), com ênfase em Realidade Estendida. Possui graduação em Expressão Gráfica (2018) e Mestrado em Engenharia de Manufatura (2021) pela UFPR. Sócio fundador e pesquisador de uma startup de tecnologia, onde desenvolve novas técnicas e ferramentas para a criação de experiências imersivas em Realidade Estendida. Tem experiência em Game Design,

SUMÁRIO

Programação e Animação em Realidade Estendida. Suas pesquisas estão focadas no desenvolvimento de novas técnicas e ferramentas para a criação de experiências imersivas em Realidade Estendida, com foco em aplicações para educação, treinamento e entretenimento. É entusiasta do metaverso e suas possibilidades. Além de suas atividades de pesquisa, é professor no curso de especialização em gestão de tecnologias 3D pelo Instituto de Soluções Tecnológicas Aplicadas (InSTA) da UFPR e participa de grupos de pesquisa como o LabMeta, laboratório do metaverso da UFPR.

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/1660611201899534>

ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-8010-7224>

E-mail: lucas.gregory@ufpr.br

Luiz Cláudio Machado

Doutor em Educação pela Universidade Federal da Bahia. Mestre em Sistemas e Computação- Universidade Salvador (2009). Graduado em Sistemas de Informação pela Universidade Salvador (2007). Licenciado em Educação Profissional Pedagógica com ênfase em Computação. Professor do Magistério do Ensino Básico, Técnico e Tecnológico do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia- Bahia. Campus Salvador. Membro do LABRASOFT.

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/6294967085470113>

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3864-9684>

E-mail: luizcms@ifba.edu.br

Luiz Felipe Cirqueira dos Santos

Graduação em Sistemas de Informação pela Universidade Tiradentes (2019), Pós-graduação em Arquitetura e Infraestrutura de TI, pela Faveni (2022), Pós-graduação em Gestão da Tecnologia da Informação, pela Uninter (2023) e Mestrando em Ciências da Computação, com foco em Engenharia de Software, pela Universidade Federal de Sergipe. Atualmente é programador de sistemas sênior - Sergipe Parque Tecnológico e Professor, nos cursos de Computação, no Centro Universitário Estácio Sergipe. Tem experiência na área de Ciência da Computação, com ênfase em Análise de Dados, atuando principalmente nos seguintes temas: testes de aceitação do usuário, interface humano-computador, avaliação de usabilidade, gerenciamento de projetos, desenvolvimento ágil, planejamento estratégico, tomada de decisão e tecnologia da informação e comunicação.

Lattes: <https://lattes.cnpq.br/2646624963945439>

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4538-5410>

E-mail: lfc18ts@gmail.com

SUMÁRIO

Maludiane Nascimento Mamede

Graduação em Tecnologia em Análise e Desenvolvimento de Sistemas pelo IFBAIANO em 2012. Participou do Núcleo de Acessibilidade Virtual (IFBAIANO), onde atuou no desenvolvimento de sites e softwares acessíveis em projetos a nível nacional vinculados a RENAPI, ministrou o minicurso intitulado "Introdução à Produção de Material didático acessível" na XII Escola Regional de Computação Bahia, Alagoas e Sergipe (2012), além de publicações na área. Atualmente participa da Residência em Software na trilha Back-End pelo CEPEDI.

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/0361345348224946>

ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-3038-1734>

E-mail: maludiane@gmail.com

Marcio F. Catapan

Doutorado em Engenharia Mecânica na UFPR (2014), Mestrado em Engenharia Mecânica pela UFSC (2006) e Engenheiro Mecânico pela UP (2002). Pesquisador DT do CNPq. Professor associado da UFPR no Departamento de Expressão Gráfica e pesquisador na área de Tecnologias 3Ds, sobretudo em realidade virtual e metaverso. Professor Permanente do PPGDesign e do PPGEM, ambos da UFPR. Vice-coordenador do PPGEM-UFPR. Professor dos Cursos de Especialização (lato sensu) em Engenharia Indústria 4.0, Energias Renováveis, Engenharia de Manutenção 4.0, Experimentação Tridimensional, MBA em Gestão e Tecnologia, entre outros. Coordena o curso de especialização em Gestão de Tecnologias 3D da UFPR desde 2019. Foi professor por 8 anos na UP (40h), no curso de Engenharia Mecânica. Também foi coordenador do curso de Pós-graduação em Gestão e Engenharia de Produtos da UP, e professor de pós-graduação da PUC-PR, UTFPR, UP e Faculdade Tupy. Foi palestrante convidado para debater assuntos relacionados a Metaverso, Realidade Virtual e Estratégias de Desenvolvimento de Novos Produtos em instituições do Brasil e fora. Com experiência de mais de 10 anos em empresas, como CNHi, Electrolux, Faurecia, Hettich, Bematech e Denso, atuante como engenheiro e coordenador da Engenharia de Produtos.

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/9702014055794665>

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1039-3939>

E-mail: marcio.catapan@ufpr.br

SUMÁRIO

Maria Amelia Eliseo

Professora assistente doutor I e Coordenadora de Pesquisa na Faculdade de Computação e Informática da Universidade Presbiteriana Mackenzie, na graduação e na pós-graduação. Pesquisadora dos grupos de pesquisa Teclnt - Tecnologias Interativas e MackLeaps - Laboratório de Estudos de Ambientes de Produção de Software.

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/5813743488218949>

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0913-3259>

E-mail: mariaamelia.eliseo@mackenzie.br

Mariano Florencio Mendonça

Pesquisador Interdisciplinar em Tecnologia da Informação e Comunicação, com Projeto de Análise de Segurança em Aplicações Móveis - Concluído. Graduado em Sistemas de Informação - Universidade Tiradentes, Mestre em Ciência da Computação pela Universidade Federal de Sergipe com pesquisa focada em Rede de Sensores Sem Fio com tema E-LITESENSE EM REDE DE SENSORES SEM FIO COM CLUSTER EM CONTROLADOR EXTERNO. Desenvolvedor Sênior na ISH Tecnologia no setor de desenvolvimento (SAFELABS) trabalhando com cibersegurança.

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/0036918771333829>

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0732-3980>

E-mail: marianofmendonca@gmail.com

Paulo de Freitas Castro Fonseca

Professor Adjunto da UFBA, no Instituto de Ciência, Tecnologia e Inovação - ICTI e membro permanente do Programa de Pós-Graduação Interdisciplinar em Cultura e Sociedade. Possui graduação em Física pela UFMG, mestrado em Estudios Sociales de la Ciencia y la Tecnología pela Universidade de Salamanca e doutorado em "Governança, Conhecimento e Inovação", pela Universidade de Coimbra. Foi Postdoctoral Research Fellow do programa "Science, Technology and Society", da Universidade de Harvard e professor visitante na Escola de Comunicação, Mídia e Informação da Fundação Getúlio Vargas e no Centro de Estudos Sociais da Universidade de Coimbra. Seu trabalho se volta para a análise crítica das relações entre inovações tecnocientíficas e sociedade, a partir de metodologias de pesquisa interdisciplinares.

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/4236832055241111>

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3403-0753>

E-mail: pfonseca@ufba.br

SUMÁRIO

Paulo Eduardo Ambrósio

Doutorado em Medicina pela Universidade de São Paulo (FMRP/USP, 2007); Mestrado em Física Aplicada à Medicina e Biologia pela Universidade de São Paulo (FFCLRP/USP, 2002); Graduação em Física - Licenciatura Plena pela Universidade de Franca (Unifran, 1999); Graduação em Processamento de Dados pela Universidade de Franca (Unifran, 1989). Atualmente é Professor Adjunto na Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC), Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Modelagem Computacional em Ciência e Tecnologia (PPGMC/UESC) e Vice-Diretor do Centro de Ciências e Tecnologias das Radiações (CTR/UESC). Tem experiência na área de computação aplicada, com ênfase em Saúde e Biologia, atuando principalmente nos temas Reconhecimento de Padrões, Imagens Médicas, Biologia Computacional e Realidade Imersiva.

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/5034444360451621>

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6043-3591>

E-mail: peambrosio@uesc.br

Rafael Miguez

Engenheiro da computação com experiência em desenvolvimento de aplicações inteligentes e imersivas, atuando nas áreas de Realidade Mista, Inteligência Artificial e Internet das Coisas. Participou de projetos de inovação tecnológica com foco em análise de dados industriais e ambientes interativos, utilizando dispositivos como HoloLens, Pico 4 e Meta Quest. Atuou como bolsista do Instituto de Ciência, Inovação e Tecnologia em Indústria 4.0 (INCITE Indústria 4.0), como desenvolvedor de artefatos e pesquisador com foco em realidade virtual e rastreamento ocular. Seu perfil interdisciplinar une desenvolvimento de software, pesquisa aplicada e visão estratégica para soluções tecnológicas inovadoras.

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/3733405436121329>

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-9105-7738>

E-mail: gabriel2@aln.senaicimatec.edu.br

Regina M. C. Leite

Professora e pesquisadora no Instituto Federal da Bahia. Estágio pós-doutoral no Senai/ Cimatec em realidade virtual para segurança do trabalho na construção. Doutora em Gestão e Tecnologia Industrial no SENAI/CIMATEC (2022). Mestre em Ciência da Computação pela Universidade Federal da Bahia (2014), especialista em gerenciamento de obras (2012) graduada em Ciência da Computação pela Universidade Federal da Bahia (1990),

SUMÁRIO

especialista em Análise de Sistemas (1985) e graduada em Engenharia Civil pela Universidade Federal da Bahia (1983). Possui experiência nas áreas de Ciência da Computação e Construção Civil. Principais temas de interesse: gestão da inovação, gamificação realidade virtual, segurança do trabalho, NR-35, produção e construção civil, Virtual reality, safety, engagement, gamification, last planner e visual management.

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/8094697818585987>

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5388-3092>

E-mail: regina.leite@ifba.edu.br

Valéria Farinazzo Martins

Estágio pós-doutoral pela Universidade Federal de Itajubá (2014). Professora Assistente doutor I nos cursos de Ciência da Computação, Sistemas de Informação e Tecnologia em Análise e Desenvolvimento de Sistemas da Universidade Presbiteriana Mackenzie (UPM).

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/9004497626504668>

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5058-6017>

E-mail: valfarinazzo@gmail.com

Yasmim Thasla S. Ferreira

Engenheira da Computação com experiência em desenvolvimento de produtos digitais e foco em pesquisas em tecnologias imersivas, como Realidade Virtual, Visão Computacional e Inteligência Artificial. Atuou em projetos de detecção de anomalias e manutenção preditiva com IA no setor de óleo e gás. Possui vivência internacional no Vale do Silício e participação em iniciativas como o programa da Huawei para talentos digitais da América Latina. Atualmente é mestranda em Gestão e Tecnologia Industrial pelo SENAI CIMATEC, pesquisando integração sensorial em ambientes virtuais. Tem perfil multidisciplinar com forte atuação em pesquisa e inovação.

Lattes: <http://lattes.cnpq.br/7241271016630855>

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-8233-2394>

E-mail: yasmim.ferreira@aln.senaicimatec.edu.br

ÍNDICE REMISSIVO

A

ambientes tridimensionais 12
ambientes virtuais imersivos 9, 11, 13, 19, 25, 27
API 50, 51, 52, 53, 54, 55, 60, 61, 62, 64, 68
Arquitetura Cloud AWS 9, 44
autoconsciência corporal 12

B

Biofeedback 9, 11

C

capacitação profissional 70
CI/CD 45, 46, 47, 49, 50, 51, 53, 59, 63

D

deficiência 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 87, 89, 90
Design Thinking 32, 33
Digital Twins 10, 116, 118, 143, 144, 145, 146

E

eletroencefalografia 12
experiência 12, 13, 15, 17, 19, 20, 23, 24, 25, 26, 32, 33, 34, 35, 40, 41, 42, 81, 125, 134, 139, 141, 148, 149, 150, 151, 153, 154, 155, 157, 158
experiências do usuário 9, 11

F

FastAPI 45, 46, 47, 51, 52, 60, 61, 62, 151
frontend 45, 46, 47

G

gêmeos digitais 117, 119, 131, 133, 139, 140, 141, 142
GitHub Actions 45, 46, 47, 53

I

IA generativa 10, 92, 94, 96, 97, 98, 99, 101, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 127
impressoras 3D 9, 31, 32, 36

interação humano-computador 13
Internet das Coisas 118, 120, 128, 133, 157

L

largura 85

M

modelagem 3D 34, 35, 37
multissensorialidade 9, 11, 12, 13, 20, 23, 24, 25, 26

P

personalização 12, 21, 24, 26, 76, 122, 139
pipeline 45, 47, 49, 50, 51, 53, 59, 63, 67
práticas web acessíveis 10, 69, 80, 81, 86, 90
proposta normativa 10, 92, 96, 109
Python 49, 50, 61, 62, 64, 151

R

rastreamento ocular 12, 14, 19, 24, 26, 157
realidade virtual 12, 14, 15, 20, 21, 22, 23, 26, 33, 34, 42, 155, 157, 158

S

Serverless Framework 45, 46, 47, 61, 62, 64, 68
sinais fisiológicos 12, 13, 16, 20, 24, 26
Software Serverless 9, 44
Sul Global 10, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 109, 110, 111, 112, 113

U

Unreal Engine 9, 31, 32, 33, 34, 38, 41, 43
User Experience 24, 32, 33

V

variabilidade da frequência cardíaca 12, 17
VR 28, 29, 33, 39, 43, 125
Vue.js 45, 46, 47

SUMÁRIO

VOLUME 1

www.pimentacultural.com

COMPETÊNCIAS DO AMANHÃ

Explorando os Horizontes da Computação

SENAI
CIMATEC
UNIVERSIDADE

 pimenta
cultural